

Inomhusluftproblem orsakade av kloranisoler

Litteraturstudier och laboratorietester för
saneringslösningar

Mette Envall

Examensarbete för ingenjörsexamen (YH)

Utbildningsprogrammet för byggnadsteknik

Vasa 2017



EXAMENSARBETE

Författare:	Mette Envall
Utbildning och ort:	Byggnadsteknik Vasa
Inriktningsalternativ:	Byggnadskonstruktion
Handledare:	Anders Borg & Jukka Huttunen

Titel: Inomhusluftproblem orsakade av kloransioler

Datum: 26.4.2017	Sidantal: 34	Bilagor: 2
------------------	--------------	------------

Abstrakt

Virke som är behandlat med klorfenolbaserade träskyddsmedel är något som i samband med fukt och mikrobiell metabolism avger illaluktande kloranisolutsläpp. I Finland användes dessa träskyddsmedel under 1930–1990-talet. Det finns inga gränsvärden för kloranisolutsläpp inomhus eller anvisningar av myndigheterna i Finland. I Sverige har kloranisolerna undersökts som ett inomhusproblem och trots konstaterad bred utsträckning är den knappt känd som en föroreningsfaktor.

Avsikten med detta examensarbete är att göra en grundlig beskrivning om kloranisolernas påverkan på inomhusmiljön och om deras bakgrund. Utöver detta beskrivs olika möjligheter hur byggnader med kloranisollukt kan undersökas samt renoveras. Beställaren av arbetet önskade en finskspråkig beskrivning, därför är bilagan skriven på finska. En del av examensarbetet består av VOC- och lukttester för olika saneringslösningar. Testerna är utförda i Technobothnias miljölaboratorium.

Språk: svenska	Nyckelord: kloranisol, klorfenol, träskyddsmedel
----------------	--

OPINNÄYTETYÖ

Tekijä:	Mette Envall
Koulutus ja paikkakunta:	Rakennustekniikka Vaasa
Suuntautumisvaihtoehto:	Rakennesuunnittelu
Ohjaaja:	Anders Borg & Jukka Huttunen

Nimike: Kloorianisoliin aiheuttamat sisäilmaongelmat

Päivämäärä: 26.4.2017 Sivumäärä: 34 Liitteet: 2

Tiivistelmä

Puutavara, joka on käsitelty kloorifenolipohjaisilla puunsuoja-aineilla, tuottaa kosteuden ja mikrobienaineenvaihduntatuotteiden kanssa pahalta haisevia kloorianisolipäästöjä. Suomessa kyseisiä puunsuoja-aineita käytettiin 1930-1990-luvuilla. Kloorianisolipäästöille ei ole viranomaisten asettamia ohjeita tai sisäilman raja-arvoja. Ruotsissa kloorianisoleja on tutkittu sisäilmaongelmana ja ongelma on todettu laajaksi. Laajuudesta huolimatta ei juuri kukaan tunne kloorianisoleja sisäilman saastuttajana.

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on tehdä perusteellinen kuvaus kloorianisoliin aiheuttamasta sisäilmahaitasta ja ongelman taustasta. Lisäksi työssä nostetaan esille erilaisia kloorianisoliin mittaushetkittäisiä sekä eri korjausvaihtoehtoja hajun poistamiseen. Työn tilaaja toivoi suomenkielisen kuvauksen, siksi tämän opinnäytetyön liite on kirjoitettu suomeksi. Lopuksi on testattu erilaisia korjausvaihtoehtoja tekemällä VOC- ja hajutestejä. Testit on suoritettu Technobothnian ympäristölaboratoriossa.

Kieli: ruotsi Avainsanat: kloorianisoli, kloorifenoli, puunsuoja-aine

BACHELOR'S THESIS

Author:	Mette Envall
Degree Programme:	Construction Engineering
Specialization:	Structural Engineering
Supervisor:	Anders Borg & Jukka Huttunen

Title: Indoor Air Problems Caused by Chloroanisoles

Date: April 26, 2017 Number of pages: 34 Appendices: 2

Abstract

Chlorophenols in wood preservatives together with moisture and microbial metabolism emit smelling chloroanisoles. In Finland, these wood preservatives were used from the 1930's to the 1990's. There is no concentration limit for indoor air for chloroanisole emissions and there are no instructions from the authorities in Finland. In Sweden chloroanisoles are investigated as an indoor problem and despite the extent it is hardly known as a pollution factor.

The purpose of this Bachelor's thesis is to do a thoroughgoing description of the impact of chloroanisoles on the indoor environment and their background. In addition to this, this thesis also describes the various possibilities of how buildings with chloroanisole odor can be measured and renovated. The company that ordered the work asked for a Finnish description of the problem, therefore the appendix is written in Finnish. A part of the thesis consists of VOC and odor tests for various decontamination solutions. The tests were performed in Technobothnia's environmental laboratory.

Language: Swedish Key words: Chloroanisoles, Chlorophenols, Wood preservation

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

1	INLEDNING	1
1.1	Bakgrund	1
1.2	Syfte och målsättning.....	1
1.3	Metodval	2
1.4	Beställare.....	2
1.5	Avgränsningar	3
2	TEORETISK BAKGRUND.....	4
2.1	Allmänt om inomhusproblem och inomhusproblem relaterade till fuktiga material	4
2.1.1	Orsaken till fukt i träkonstruktioner.....	5
2.1.2	Fuktskador i behandlade och obehandlade träkonstruktioner.....	7
2.1.3	Emissionernas spridning inomhus	8
2.2	Träskydd med kemikalier	9
2.2.1	Kemiskt träskydd mot insekts- och svampangrepp.....	10
2.2.2	Impregnering av trä.....	11
2.2.3	Manuella träskyddsmetoder	11
3	KLORANISOLERNAS OCH KLORFENOLERNAS PÅVERKAN PÅ INOMHUSMILJÖN.....	13
3.1	Bakgrund till kloranisoler	13
3.2	Allmänt om klorfenoler och kloranisoler.....	13
3.3	Centrala lagar och bestämmelser om klorfenolbaserade kemikalier	15
4	LABORATORIETESTER FÖR OLIKA SANERINGSLÖSNINGAR.....	17
4.1	Provernans förberedelse och VOC-provtagning.....	17
4.2	Körning av proven och standarderna.....	23
5	RESULTAT	25
5.1	Mätutrustning och gränsvärden för kloranisoler och klorfenoler	25
5.2	Saneringslösningar för kloranisolobjekt.....	26
5.3	Laboratorietesternas resultat på olika saneringslösningar.....	27
5.3.1	Resultat.....	27
5.3.2	Resultattolkning.....	28
6	SLUTDISKUSSION.....	31
7	REFERENSER	32

BILAGA 1: Kloorianisolen ja kloorifenolien vaikutus sisäilmaan

BILAGA 2: Gaskromatograf programmets inställningar

1 INLEDNING

Detta examensarbete är en beställning av företaget IdeaStructura Oy, som ville ha en utredning av kloranisolers påverkan på inomhusluften. Examensarbetet är utfört på yrkeshögskolenivå och den omfattar 15 studiepoäng. I det inledande kapitlet beskrivs bakgrunden till detta arbete, syftet och målsättningen, metodval, avgränsningar samt en presentation av beställaren.

1.1 Bakgrund

Hur kvaliteten på inomhusluften uppfattas beror på flera olika faktorer. Ventilationen och olika föroreningskällor har stor inverkan på luftkvaliteten. Föroreningskällornas emissioner är ofta gasformiga ämnen eller små partiklar, vilka lätt transporteras med luftrörelser. Bland annat materialemissioner kan öka i samband med ökad fukthalt. Detta sker eftersom kemiska reaktioner uppstår på grund av fukt. (Utbildningsstyrelsen, 2009)

Virke som behandlats med klorfenolbaserat träskyddsmedel, som användes mest på 1950–1970-talet, är något som i samband med fukt avger illaluktande kloranisolutsläpp. Emissionerna är flyktiga och transporteras lätt via otäta konstruktioner till inomhusluften. Lukten av kloransioler är unken och liknar mögellukten, dessutom kännetecknas lukten av att den lätt fastnar i andra material. (Lorentzen J. C., Juran, Nilsson, Nordin, & Johansson, 2015)

I Finland är kloraniselemissionerna knappt uppmärksammade som en förorening för inomhusluften. Det finns varken gränsvärden för utsläppen eller anvisningar av myndigheterna. (Miljöministeriet, 2016) I Sverige har kloranisolerna undersökts som ett inomhusproblem och trots konstaterad bred utsträckning är den nästan inte alls känd som en föroreningsfaktor (Lorentzen J. C., Juran, Nilsson, Nordin, & Johansson, 2015).

1.2 Syfte och målsättning

Syftet med detta arbete är att sammanställa en omfattande studie av tidigare gjorda undersökningar angående kloranisolproblematiken och att översätta den till finska. Bilagan i detta arbete är skriven på finska. Utifrån studierna är målsättningen med arbetet att få fram möjligheter och metoder för mätning av kloranisolutsläpp samt riktgivande

gränsvärden för halter inomhus. Huvudmålsättningen är dock att sammanställa olika saneringslösningar från tidigare undersökningar och från tester som gjorts som en del av detta examensarbete i Technobothnias miljölaboratorium. Saneringslösningarna kommer främst att fokuseras på olika lösningar för att absorbera eller kapsla in emissionerna

1.3 Metodval

Examensarbetet är främst en litteraturstudie av tidigare forskning samt av lagar och förordningar tangerande ämnet kloranisoler. Arbetets bilaga är ett dokument där kloranisoler och dess problematik beskrivs grundligt. Dessutom har olika företagshemsidor använt som väsentliga källor angående olika saneringslösningar. Problemet med denna metod är att ämnet är relativt nytt och ingen forskning har gjorts i Finland. Problemet gör att lämpliga utländska källor måste hittas och innehållets kvalitet avgöras.

Utöver litteraturstudierna är personligkommunikation en viktig metod som använts i arbetet. Det förekom ett flertal dialoger med olika produkttillverkare och andra kunniga inom ämnet. Kommunikationen skedde främst via mejl.

Utöver detta utfördes laborietester för fyra olika saneringslösningar. Testerna utfördes i Technobothnias miljölaboratorium. Utmaningen i testerna var tetrakloanisolens flyktighet och bristen på personlig erfarenheten av laboriearbete. Arbetet omfattar även en analysdel där de testade saneringslösningarna och andra möjligheter för sanering jämförs.

1.4 Beställare

IdeaStructura Oy är beställaren till detta examensarbete. Professionellt kunnande inom byggnadsteknik och byggnadsfysik var målsättningen för företaget då den grundades år 2011. Företaget omsättning var 3,6 miljoner år 2015. Företagets styrelsemedlemmarna är verkställande direktör Jyrki Jalli samt Jukka Huttunen, Pentti Aho, Juha Koskinen och Jukka Reinikainen. IdeaStructura Oy har nu ca 40 anställda i Helsingfors, Karleby och Tavastehus. Inom företaget arbetar bland annat byggnadskonstruktörer, arkitekter och landskapsingenjörer.

Till IdeaStructura Oy:s tjänster hör främst byggnadsplanering för nybygge och sanering, modellering i 3D-program, byggnadsfysikalisk planering och beräkning, konditionsgranskningar och olika undersökningar av inomhusmiljön. (IdeaStructura Oy, u.å.; Suomen Asiakastieto Oy, u.å.)

1.5 Avgränsningar

Detta examensarbete kommer i huvudsak att behandla kloranisolers påverkan på inomhusluften, bakgrunden till problematiken samt möjligheter för mätning och sanering. Omfattningen avgränsas till undersökningar av kloranisoler gjorda i Sverige och Tyskland. I svenska undersökningar har det gjorts utredningar på hur vanligt det är med kloranisolutsläpp i svenska hus, men i detta arbete undersöks inte motsvarande statistikuppgifter för Finland. Dessutom kommer hälsfaktorerna endast att behandlas kort och ytligt, delvis på grund av så få tidigare undersökningar, men främst för att denna del inte tangerar byggnadsteknik.

2 TEORETISK BAKGRUND

I detta kapitel behandlas den teoretiska bakgrunden om vilka faktorer som påverkar att kloranisolutsläpp sist och slutligen uppstår. Först beskrivs fuktigt trä samt dess följder och till sist tas olika träskyddsmetoder upp.

2.1 Allmänt om inomhusproblem och inomhusproblem relaterade till fuktiga material

Mänskorna tillbringar nästan 90 procent av sin tid inomhus och andas ca 15 000 liter luft i dygnet. En dålig inomhusluft försämrar trivselen och ger en sänkt arbetseffektivitet, men kan i värsta fall vara farlig för hälsan. En hälsosam inomhusluft är fri från lukt, damm, drag och buller samt att den har lämpligt temperatur.

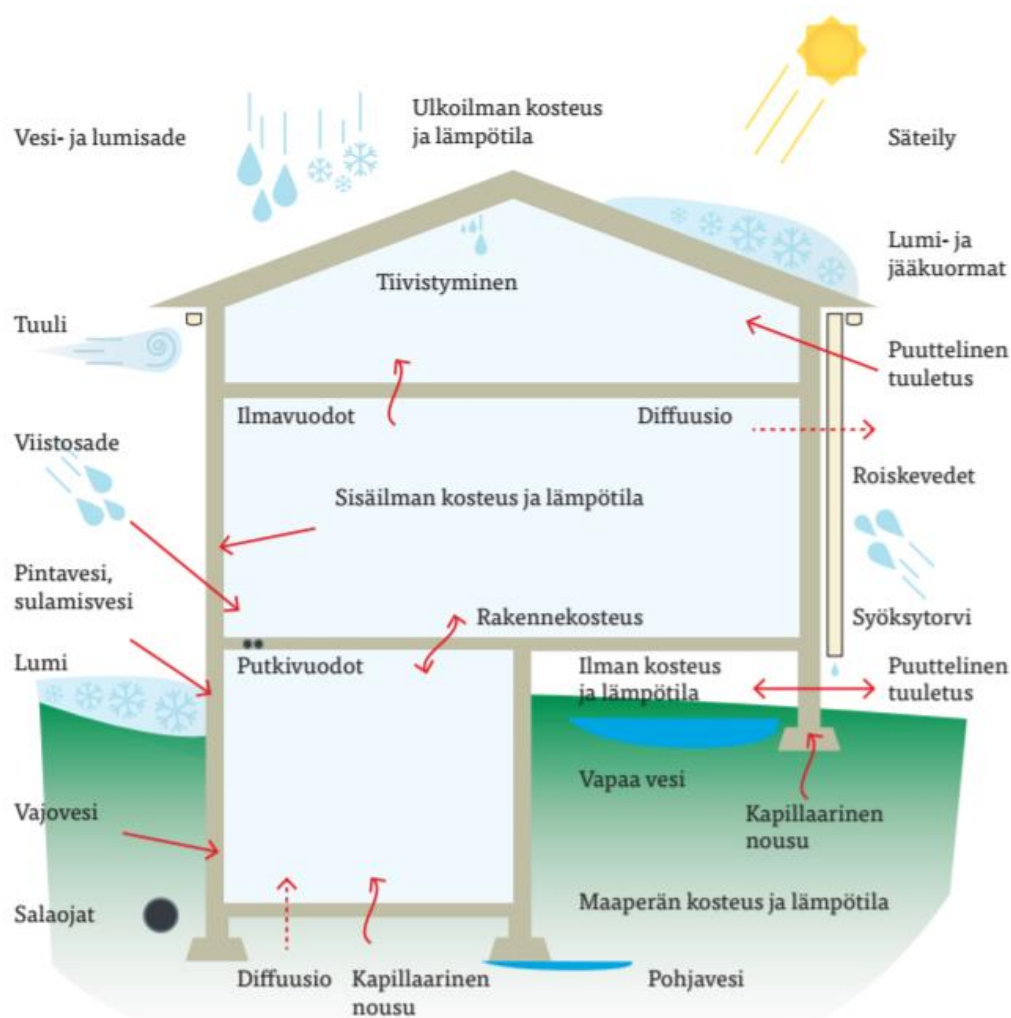
De vanligaste inomhusluftrelaterade problemen är instängdhetskänsla, olika lukter, dragkänsla, för låg eller hög temperatur, torr luft, buller och kondens på ytor. Dessa problem kan bero på olika saker, såsom otillräcklig ventilation, smutsigt ventilationssystem och/eller ventilationsfilter. Vanligt är också att tobaksrök, damm och olika allergener transporteras från uteluften. Dessutom kan dålig luftkvalitet komma som följd av fuktskador och från olika gasformiga orenheter från olika källor. (Allergia- ja Astmaliitto ry ja Hengitysliitto ry, 2011)

Vatten- och fuktskador är vanliga runt om i världen på grund av bristfälliga byggnadsmetoder och dåligt underhåll av befintliga byggnader. Problemet väntas öka i takt med klimatförändringen, som leder till mera regn i många delar av världen. Fukt i byggnader är starkt relaterade med negativa hälsoeffekter och dålig lukt. Fuktiga konstruktionsdelar, såsom trä, gips och lim kan avge emissioner som sprids till inomhusluften och orsakar ovannämnda problem. Till exempel fuktigt trä är en lämplig miljö för tillväxt av svampar och bakterier. Dessutom kan fuktiga material orsaka att emissioner utsöndras från till exempel de kemikalier som materialet har behandlats med. (Markowicz & Larsson, 2012)

2.1.1 Orsaken till fukt i träkonstruktioner

Fukt förekommer i två olika former, som vatten och vattenånga. Då vattnet avdunstar så övergår det till vattenånga och sedan då vattenångan kondenserar övergår den igen till vatten. Fukten kan nå konstruktionen på flera olika sätt (Figur 1):

- Via nederbörd
- Genom hygroskopi från både inom- och utomhusluften
- Via marken genom kapillärsugning
- I samband med rörläckage
- Från byggfukten
- Genom konvektion och diffusion mellan inom- och utomhusluften



Figur 1: Olika fuktkällor som belastar byggnader (Allergia- ja Astmaliitto ry ja Hengityслиitto ry, 2011)

För att minimera mängden fukt som hamnar i konstruktioner bör man skydda konstruktioner från direkt vatten och ha kontroll på vattenångans transport genom konstruktionen. Fukten i konstruktioner kan orsaka problem för människans hälsa i form av skador, hygieniska olägenheter, mikrobiell tillväxt och elak lukt.

Trä och träbaserade byggmaterial påverkas av fukt vid lägsta relativa fuktigheten¹, vilket är avgörande jämfört med andra material. Den kritiska gränsen på när fukt börjar påverka träkonstruktionerna negativt är på 70–80% relativ fuktighet. Isoleringen och dess placering i konstruktionen har stor inverkan på relativa fukthalten, eftersom att temperaturen påverkar halten. För att få en lägre relativ fuktighet krävs högre temperatur. Dessutom består trä av flera små porer i stället för färre större porer, vilket gör att träet har stor sugkraft, det vill säga den är hygroskopisk. Träet kan då suga upp fukten från omgivningen, långt in i materialet, genom kapillärsugning. En beskrivning om träets fuktskador finns i nästa kapitel.

Genom diffusion och konvektion strävar fukten efter jämvikt. Ångdiffusionen sker från högre till lägre fukthalt. Därför är byggnadskonstruktioner i ständig kontakt med fukt, på grund av fuktskillanden utomhus och inomhus. Skillnaden i lufttrycket inomhus och utomhus ger orsak till konvektion². Det gör att fukten kan kondensera inne i konstruktionen. Om det till exempel är övertryck inomhus kan den varma fuktiga luften läcka ut via otätheter i kalla konstruktioner där ånghalten blir mättad och orsakar kondens.

Konstruktioner kan alltså bli våta på grund av direkt kontakt med vatten eller vattenånga. Vattenångans transport genom konstruktioner påverkas som sagt av mängden fukt i luften, konstruktionens täthet, temperaturskillnaden, tryckskillnaden och fuktskillnaden inom- och utomhus. Dessutom påverkar materialets egenskaper och hur det är skyddad mot fukt vilka konsekvenserna blir. (Isover Saint-Gobain Sverige AB, 2016; SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut, u.å.)

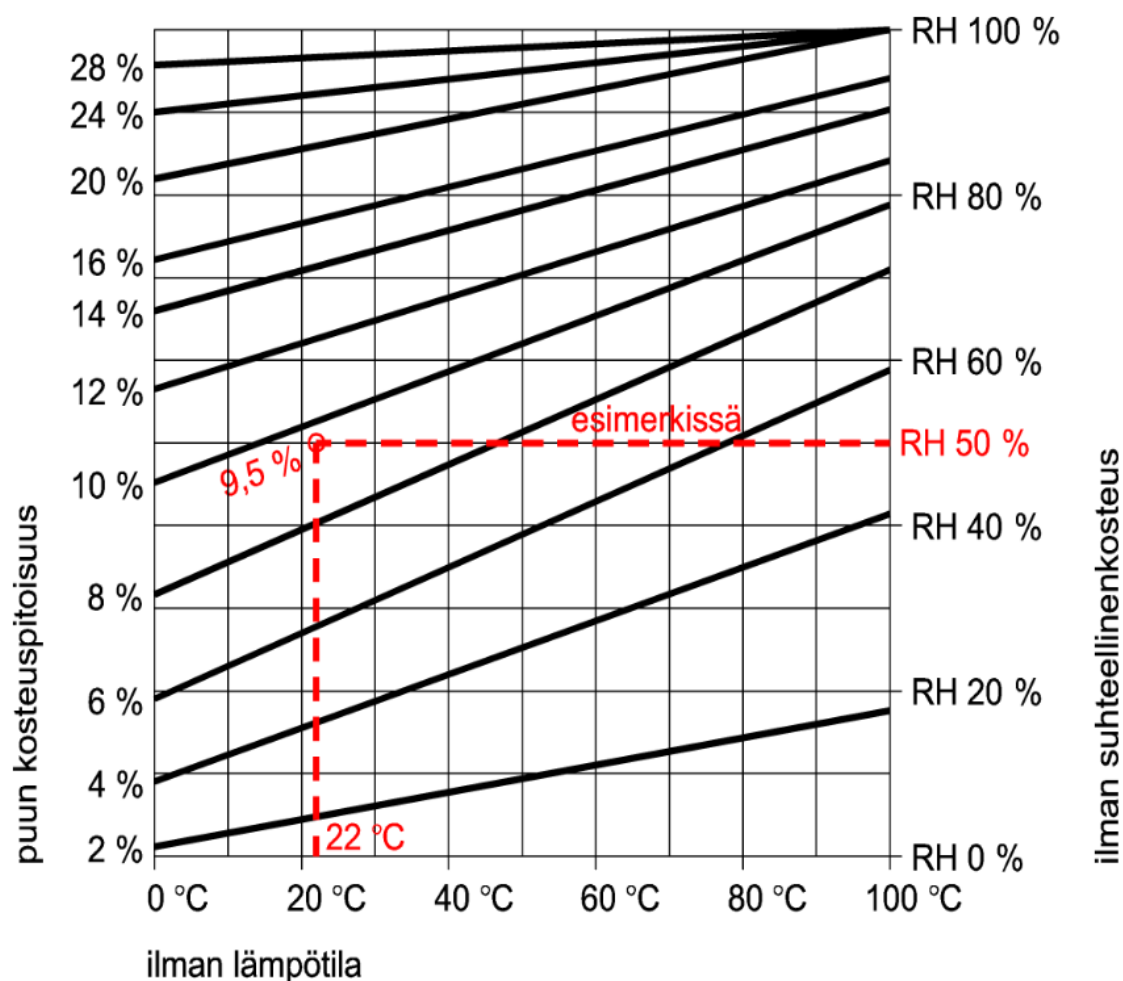
¹ Relativa fuktigheten (RH): definieras som den procentandel vattenånga luften innehåller av det maximala.” (Isover Saint-Gobain Sverige AB, 2016)

² Konvektion: ”Rörelser i gaser och vätskor som orsakas av att densiteten, dvs. tyngden, varierar mellan gasens eller vätskans olika delar” (www.ne.se, hämtat 27.2.2017)

2.1.2 Fuktskador i behandlade och obehandlade träkonstruktioner

En byggnad kan anses vara fuktskadad om röt- eller mögelskador upptäcks. Virkesslagens beständighet mot mikrobiella angrepp är olika. Då träet finns i naturen ingår den i det naturliga kretsloppet, vilket gör att trävirket i konstruktionen också kan drabbas av mikroorganismer. För att mikroorganismangreppet ska uppstå krävs det specifika förutsättningar i träkonstruktionens miljö. (TräGuiden, 2003)

Träet börjar ta skada om dess fuktkvot en längre tid är över 20 % och då är omgivande luftens relativa fuktighet över 80–90% (Figur 2). Träet börjar mögla redan på några månader i en miljö med relativ fukthalt över 80% då den kritiska gränsen ligger på 70%. Då den relativa fukthalten i luften överskrider 90% drabbas träet av röta. Förutom tillräcklig fukt krävs också en temperatur på +0 – +40 °C, syre och näring för att mögel- och rötsvampstillväxten ska komma igång. Oftast finns det tillräckligt med näring i träet och i den omgivande luften.



Figur 2: Träets fuktkvot beroende på relativa fukthalten i luften och temperaturen (Puuinfo, u.å.).

Träkonstruktionernas hållbarhet påverkas inte av mögel eftersom den växer endast på ytan. Istället är mögelsporerna farliga för hälsan, för att de kan orsaka olika allergiska reaktioner och förgiftningssymptom. Blånadssvamp som ofta förknippas felaktigt med mögeltillväxt, färgar träet och tränger sig in i konstruktionen. Trots inträngningen påverkar den inte hållbarheten väsentligt. (Puuinfo, u.å.) Träkonstruktionernas livslängd förkortas främst av rötsvamparna.

Träet kan skyddas mot fukt och rötangrepp genom kemisk behandling, såsom tryckimpregnering. Tryckimpregnerat virke är dock inte fullt skyddat mot mögelsvampar. Fukt i byggmaterial och således mikrobiell tillväxt kan ha en negativ effekt på hälsan, men vilka ämnen som orsakar ohälsa är ännu inte klara, men mikrobiella och kemiska ämnen är misstänkta. (TräGuiden, 2003)

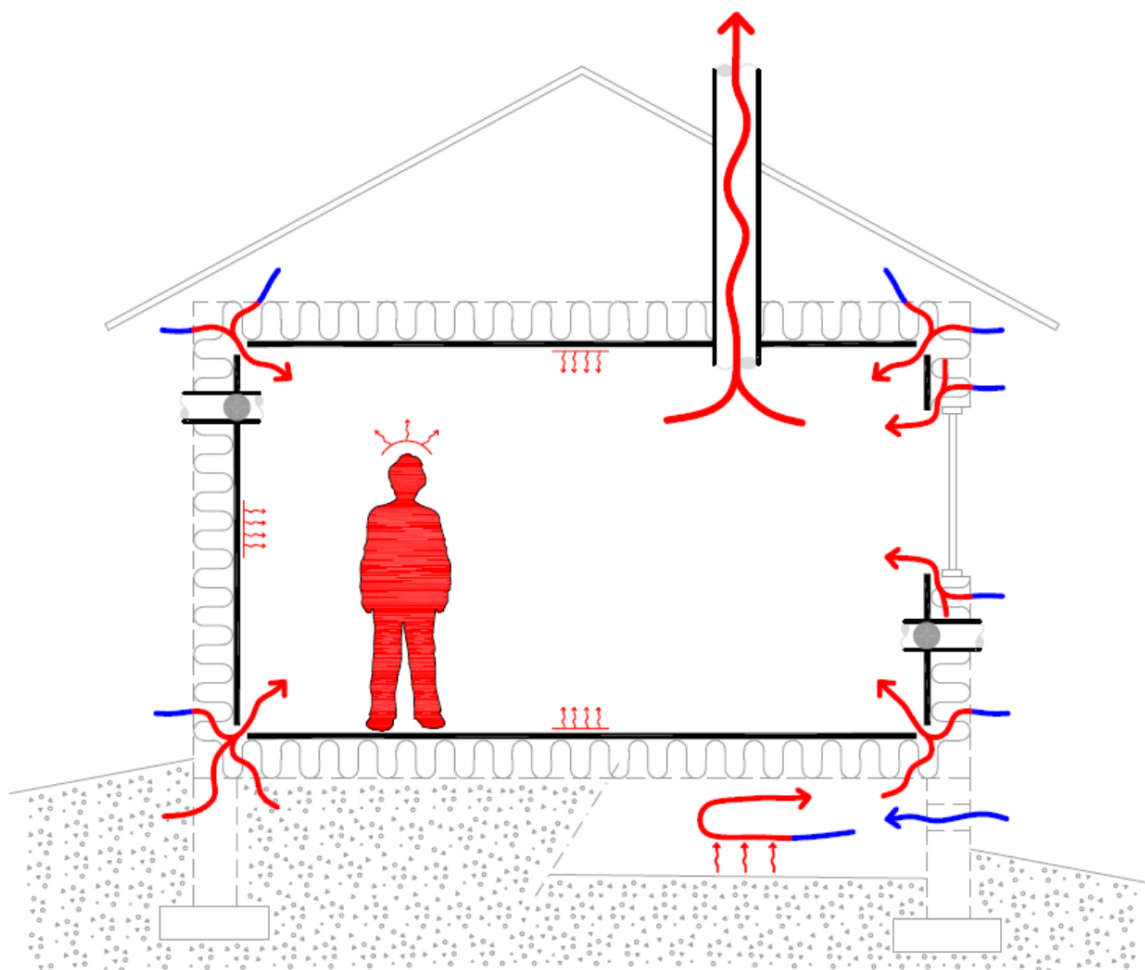
Tidigare behandlades träkonstruktioner med pentaklorfenolbaserade träskyddsmedel för att skyddas mot röta. Då pentaklorfenolbaserade träskyddsmedel utsätts för fukt sker en kemisk reaktion där kloranisolutsläpp som avger en elak lukt uppstår. Pentaklorfenolerna är skadliga för hälsan men kloranisolernas hälsoeffekter är knappt undersökta överhuvudtaget. (Lorentzen J. C., Juran, Nilsson, Nordin, & Johansson, 2015; Palm, Sternbeck, Remberger, Kaj, & Brorström-Lundén, 2002) Läs kapitel 3 och bilaga 1 för en noggrannare beskrivning om pentaklorfenolbehandlade träkonstruktioner, fukt och kloranisolutsläpp.

2.1.3 Emissionernas spridning inomhus

Med yttre konstruktioner menas bottenbjälklag, övrebjälklag och ytterväggar. Om det finns mikrober på grund av fuktskador eller andra mikrober isoleringen i de yttre konstruktionerna kan det orsaka hälsobekymmer eller lukt inomhus. Föroreningar orsakade av mikrober kan spridas till inomhusluften i form av partiklar eller gasformiga föreningar. Snabba temperatur- och fuktväxlingar i materialen försnabbar materialens åldrande och de gasformiga föreningarnas spridning.

För att inte föroreningarna ska kunna spridas till inomhusluften bör de yttre konstruktionernas inre ytor vara täta. Otätheter kan till exempel finnas i vägg-, golv- och takkonstruktioner. En konstruktion är otät då den läcker luft och då kan föroreningarna spridas till inomhusluften. Otäta ställen bör lokaliseras för att kunna göra en fungerande täthetsplanering på bygganden. (Peltola, o.a., 2008, ss. 172, 227)

Emissioner från konstruktionerna eller från utomhusluften kan alltså spridas till inomhusluften via otäta genomföringar, konstruktioner eller konstruktions anslutningar (Figur 3) (Peltola, o.a., 2008, ss. 61, 227; Korpi, 2015).



Figur 3: Otätheter vid konstruktioner och dess anslutningar (Huttunen, 2013)

2.2 Träskydd med kemikalier

Trä impregneras och behandlas på olika sätt beroende på vilka egenskaper hos träet man vill ändra på. Oftast vill man påverka trämaterialiets fuktpupptagningsförmåga, beständighet, hårdhet och formstabilitet. Olika metoder kan användas för att bland annat behandla träet mot svamp- och insektsangrepp, för bättre brandskydd och för att förbättra dimensioneringsstabiliteten. (Svenskt Trä, u.å.)

Tidigare ansågs tryckimpregneringen vara ett tillräckligt skydd för virket mot olika fuktskador och det rekommenderades för att skydda träet (Nyman, 1994). På 1950–1970-talet användes både ytbehandling och tryckimpregnering med olika klorfenolbaserade träskyddsmedel i Sverige, för att skydda träet mot röta. Vanligast var tryckimpregnering med varumärket KP-Cuprinol (Lorentzen, Juran, & Johanson, 2015). I Finland användes

likaså olika sätt för att skydda trä. Vanligaste pentaklorfenolbaserade preparatet var Ky 5, som användes på 1930–1980-talet (Miljöministeriet, 2016). Även om Ky 5 förbjöds i mitten av 1980-talet, fanns det ännu i början av 1990-talet andra pentaklorfenolbaserade produkter som användes för att skydda träet i form av bestrykning, besprutning och doppning (Komulainen, Huttunen, & Sääntti, 2011). Ky-5 användes i form av doppning och doppningen stod sannolikt för den största spridningen av pentaklorfenol (Palm, Sternbeck, Remberger, Kaj, & Brorström-Lundén, 2002).

2.2.1 Kemiskt träskydd mot insekts- och svampangrepp

För att träet inte ska drabbas av svamp- och insektsangrepp bör man i första hand utgå från ett konstruktivt träskydd³. Med konstruktivt träskydd försöker man förebygga ovannämnda angrepp. Konstruktivt träskydd är inte alltid möjligt och då kan konstruktionen behandlas med olika kemikalier, för att förhindra eller minska angrepp av träförstörande organismer. (Svenskt Trä, u.å.)

Trä kan behandlas på olika sätt för att modifiera träets egenskaper. Kemikalier som används för att skydda träet mot insekts- och svampangrepp har olika sammansättningar. Behandlingens effekt påverkas dessutom av koncentrationen, inträngningsdjupet, samt hur bra medlet bundits i virket.

Träskyddsbehandlingar kan delas in i två huvudkategorier, impregnering av virke och manuell applicering. Till manuella metoder hör bland annat bestrykning, besprutning och doppning. För att en träskyddsbehandling ska kunna klassas som impregnering bör virket gå igenom en industriell process, så som tryckimpregnering eller vakuumimpregnering. Bestrykning, besprutning och doppning med olika kemikalier ger en ytlig inträngning i virket. Ingen av ovannämnda metoder ger ett lika bra rötskydd som impregneringen. (TräGuiden, 2003)

För impregneringens klassificering och dess kvalitetskrav finns bestämmelser och anvisningar i RT kortet ”kyllästetty puutavara” (RT 21–11094). RT-kortet baserar sig på EN-standarder (europeiska standarder) och Nordiska Träskyddsrådets dokument. Dessutom bör alla träskyddskemikalierna vara godkända av Säkerhets- och kemikalieverket (Tukes). (Rakennustieto Oy, 2012)

³ Konstruktivt träskydd betyder att man strävar efter att skydda träet utan impregnering och istället skydda träet med mer skyddande konstruktionsdetaljer, såsom inklädnad, förband och ändträ. (www.traguiden.com, hämtat 16.4.2017)

2.2.2 Impregnering av trä

Furu är det mest använda virket inom impregneringen. Splintveden är den delen av virket som tar upp impregneringskemikalierna. Kärnveden är redan naturligt skyddad mot röta men den uppnår ändå inte samma skydd som den impregnerade splintveden.

Impregneringen är en industriell process, där virket utsätts för tryck och/eller vakum i ett slutet kärl. Impregneringsmedel tillförs under processen och på grund av tryckskillnaden trängs kemikalier in i virket. (TräGuiden, 2003) Impregneringen påverkar inte virkets hållfasthet, men livslängden för virket är ca 3–5 gånger längre. (Rakennustieto Oy, 2012) Impregnering är ett effektivare sätt att skydda träet mot röta jämfört med manuella metoder (Lahontorjuntayhdistys r.y. ja Rakennuskirja Oy, 1988, s. 85).

I Finland har det impregnerade träet varit hållbart. Dess livslängd har varit i årtionden och i bästa fall århundraden. Beroende på impregneringens klassificering beror det på om virket är menat klara av markfuktens belastning eller endast små fuktbelastningar. Alla användningsändamål kräver inte en impregnering för att klara av fuktbelastningen. Ifall virket används under bara en kort tid behöver det inte skyddas för årtal, till exempel utomhusmöbler. (Tukes - Säkerhets- och Kemikalieverket, 2014)

Impregneringsmedlen i Finland ska vara godkända av Tukes (Rakennustieto Oy, 2012). Mängden impregneringsmedel och impregneringsdjupet påverkar det impregnerade träets träskyddsklass. (TräGuiden, 2003) Impregnerat trä delas in i fyra klasser: M, A, AB och B, som baserar sig på EN-standarderna EN335-1 och EN351-1 (standard för träskyddsbehandlat trä), samt på Nordiska Träskyddsrådets anvisningar. I klassificeringen beaktas det använda träskyddsmedlen, träsorten och produktionsanläggningen. Dessutom övervakas impregnerade virkets kvalitet. (Rakennustieto Oy, 2012)

2.2.3 Manuella träskyddsmetoder

De vanligaste sätten att ytbehandla träet med hjälp av olika kemikalier är doppning, bestrykning och besprutning (Lahontorjuntayhdistys r.y. ja Rakennuskirja Oy, 1988, ss. 87-89). Kemikaliernas förmåga att skydda träet beror på vilken metod som använts. Skyddets varaktighet påverkas även av metoden och därför bör behandlingen upprepas tillräckligt ofta, med 1–3 års intervaller. (TräGuiden, 2003) Träskyddsmedlets inträningsdjup blir relativt ytligt och således är skyddet sämre än hos impregnerat virke.

Doppning är ett effektivare träskyddssätt jämfört med besprutning och bestrykning, eftersom virket doppas under en längre tid tränger medlet speciellt bra in i ändor och sprickor. Som tidigare nämnt är dock ingen av dessa metoder speciellt effektiva och därför begränsas deras användningsområde. Manuell tillförsel av träskyddsmedel lämpas för virke som är avsedd för en sådan användning där inte den yttre fuktbelastningen är för stor. Exempel på sådana användningsändamål är yttre konstruktioner som befinner sig ovanom markytan, så som staket och ytterväggspanel. Doppning är den vanligaste använda manuella träskyddsmetoden, medan besprutning och bestrykning används mera i saneringsprojekt.

Alla träsorter kan ytbehandlas, men alla sorter kan inte impregneras. Bland annat gran är ett träslag som inte lönar att impregnera eftersom kemikalierna sugas in dåligt och inträngningen inte uppfyller de givna kraven. (Lahontorjuntayhdistys r.y. ja Rakennuskirja Oy, 1988, s. 89)

3 KLORANISOLERNAS OCH KLORFENOLERNAS PÅVERKAN PÅ INOMHUSMILJÖN

Kapitlet om kloranisoler är en sammanfattning av den finskspråkiga bilagan. Kapitlet beskriver bakgrunden och följderna av kloranisoler och klorfenoler. Dessutom redogörs det för centrala lagar och bestämmelser om klorfenoler.

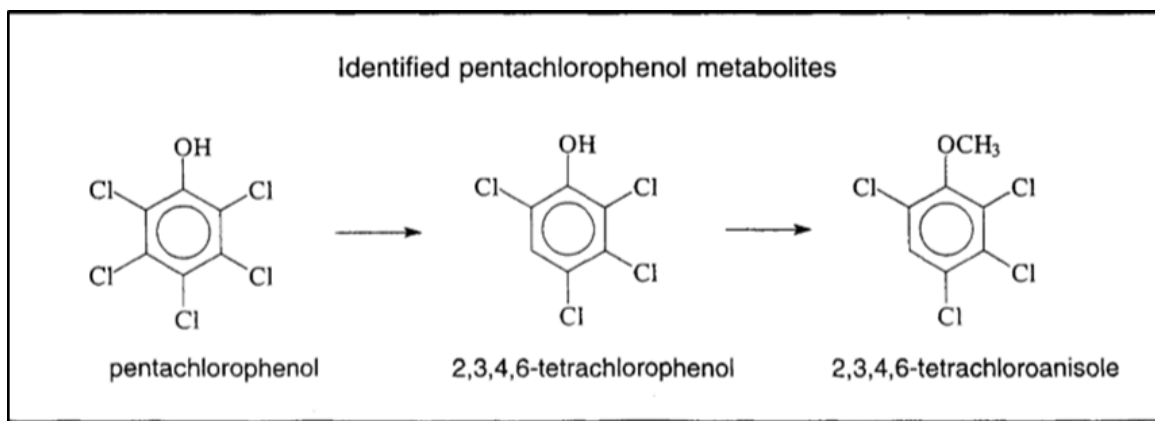
3.1 Bakgrund till kloranisoler

De mest miljö- och hälsofarliga byggprodukter som framställts under de senaste femtio åren är olika träskyddsmedel. Bland dessa giftiga preparat finns bland annat pentaklorfenol, kreosot och lindan. De giftiga preparaten har använts till utemöbler, sandlådor, järnvägssyllar och mycket mera. Dessutom har dessa även använts inomhus för att bland annat behandla takstolar eller för att ge träytor en rustik färg. (Ekobyggportalen, u.å.) Pentaklorfenol baserade träskyddsmedel kan dessutom avge illaluktande kloranisoler. (Gunschera, Fuhrmann, Salthammer, Schulze, & Uhde, 2004)

Kloranisolutsläpp är inte en allmänt känd föroreningsfaktor i inomhusluften. Kloranisolernas påverkan på inomhusluften är inte undersökt i Finland och det finns inga officiella gränsvärden för kloranisolhalter inomhus. (Miljöministeriet , 2016)

3.2 Allmänt om klorfenoler och kloranisoler

Kloranisoler är illaluktande emissioner som kommer från klorfenolbaserade träskyddsmedel. Dessa användes flitigast på 1930–1980-talet. (Miljöministeriet , 2016) Träskyddsmedlen användes bland annat mot röta, mögel och svampväxter. Klorfenoler tillsammans med fukt och mikrobiell metabolism skapar under en kemisk reaktion lättflyktiga kloranisolutsläpp. (Lorentzen J. C., Juran, Nilsson, Nordin, & Johansson, 2015) Under processen avges kloratomer från klorfenolens bensenring och en metylgrupp ($-\text{CH}_3$) ansluts till bensenringen (Figur 4) (Gunschera, Fuhrmann, Salthammer, Schulze, & Uhde, 2004).



Figur 4: Kemiska processen då pentaklorfenol förvandlas till tetrakloranisol (Gunschera, Fuhrmann, Salthammer, Schulze, & Uhde, 2004)

Kloranisolernas lukttröskel är väldigt låg och därför behöver inte lukten direkt kopplas med märkbara mikroskador i konstruktionerna (Miljöministeriet, 2016). Lukten är unken och påminner om mögellukt. Dessutom fastnar lukten lätt i andra material och det behandlade virket kan finnas på många ställen i bygganden. Detta gör att saneringen av en byggnad med kloranisolproblem är mycket komplicerad. (Lorentzen J. C., Juran, Nilsson, Nordin, & Johansson, 2015) Det kan ta olika länge före det klorfenolbehandlade virket börjar avge lukt. Om fuktbelastningen är tillräckligt stor ($\geq 15\%$ fuktkvot) kan lukt avges redan efter ett år (Nyman, 1994). Om fuktbelastningen däremot är låg kan den mikrobiella metabolismen vara långsam och det kan ta upp till 20–30 år innan virket börjar ge ifrån sig lukt (Gunschera, Fuhrmann, Salthammer, Schulze, & Uhde, 2004). Trikloranisol och tetrakloranisol är de vanligaste kloranisolemissionerna, varav trikloranisol är en av de starkaste luktande MVOC⁴ utsläppen.

Den mest använda klorfenolen är pentaklorfenol som är använd i många olika länder. Detta tyder på att problematiken är global, för fukt finns överallt i världen. Dessutom anses kloranisolproblemen växa i takt med växthuseffekten, det vill säga i takt med att klimatet blir varmare och fuktigare. (Lorentzen J. C., Juran, Nilsson, Nordin, & Johansson, 2015) Det mest använda pentaklorfenolbaserade träskyddsmedlet i Finland var Ky5, som användes mellan 1930–1980-talet (Miljöministeriet, 2016). I Sverige var motsvarande använda medel KP-Cuprinol, vilket användes som aktivast 1955–1978 (Nyman, 1994).

Hälsoriskerna är mycket dåligt undersökta och symptomen som kunde förknippas med kloranisolutsläpp liknar många andra vanligt förekommande symptom, såsom

⁴ MVOC (Microbial Volatile Organic Compound) står för mikrobiella metabolismens produkter som avges till luften som gasformiga föreningar (www.sisailmayhdistys.fi, hämtat 14.2.2017)

infektionssymtom. I en svensk undersökning sägs att kloranisolernas hälsobesvär möjligen kan förknippas med psykobiologi⁵, det vill säga att den psykiska oron ger fysiska symptom. Dock har ett samband hittats mellan astma, allergisymptom och människor som bor i byggnader byggda på 1960–1970-talet. Dessutom förvarnar människans luktsinne om hälsofarliga luktande emissioner och framkallar en skyddande psykisk reflex. Trots allt är kloranisolernas lukt det största besväret och det kan leda till sociala bekymmer. Lukten fastnar i alla material, såsom möbler och kläder. Dessutom kan själva bygganden vara svår att sälja, vilket ger en ekonomisk otrygghet åt familjen som bor där. De sociala bekymren orsakar oro och stress, vars symtom också motsvarar de vanliga infektionssymtomen. (Lorentzen J. C., Juran, Nilsson, Nordin, & Johansson, 2015)

För en noggrannare beskrivning på klorfenoler och kloranisoler se bilaga 1.

3.3 Centrala lagar och bestämmelser om klorfenolbaserade kemikalier

Enligt Paula Haapasola från Säkerhets- och kemikalieverket har pentaklorfenolbaserade och andra träskyddsmedel redan i årtionden varit sådana preparat som måste få ett godkännande av myndigheterna för att få släppas ut på marknaden. Nuförtiden är det Säkerhets- och kemikalieverket (Tukes) som ger godkännandet. Godkännandet baserar sig på EU:s förordning om biocider (528/2012) och den nuvarande kemikalielagen (599/2012). Förr var det Läkemedelsförvaltningen⁶ som gjorde beslutet på basis av giftlagen (309/1969) och senare på då ikraftvarande kemikalielagen (744/1989). (personlig kommunikation 11.1.2017)

Dessutom finns det förordningar där miljöministeriet behandlar pentaklorfenolbaserade kemikaliernas förbud (143/2000) och begränsningar (846/1993). ”*Valtioneuvoston päätös pentakloorifenolin sekä eräiden difenyyylimetaanien markkinoille luovuttamisen ja käytön kieltämisestä (143/2000)*” togs i kraft 1. mars 2000 och ersätter förordningen angående pentaklorfenolernas begränsning (846/1993). (Miljöministeriet, 2000; Miljöministeriet, 1993) Förordningen har skapats på basis av kemikalielagens 43:e och 44:e paragraf. Där sägs att ifall kemikalierna är i sig själva eller dess användning är skadligt för människans hälsa eller för miljön kan Statsrådet förbjuda bland annat dess tillverkning, användning och import. Dessutom får Statsrådet bestämma begränsningar och förslag angående kemikalierna. (Social- och hälsovårdsministeriet, 1989)

⁵ Psykobiologi: ”Vetenskap om hur kroppens funktioner, i synnerhet hjärnan och centrala nervsystemet, kontrollerar beteendet” (www.psykologiguiden.se, hämtat 14.2.2016)

⁶ Läkemedelsförvaltningen är en egen översättning från finskans Lääkintöhallitus

I förordningen om pentaklorfenolernas förbud (143/2000) sägs:

- Pentaklorfenol, dess salter och estrar samt kemikalier som innehåller minst 0,1 viktprocent av dessa är förbjudna att använda och släppa ut på marknaden.
- Det är förbjudet att använda kemikalierna inomhus och även i övrigt ifall ovannämnda kriterier uppfylls. Dessutom får inte behandlat trä användas i tillverkningen av livsmedelsförpackningar eller som material till annat som kan komma i kontakt med eller förorena människor eller djurs näringsråvaror, - halvfabrikat eller -produkter.
- Dessa förbud gäller inte kemikaliernas forsknings- och utvecklingsarbete eller analysändamål. (Miljöministeriet, 2000)

Enligt den upphävda förordningen (846/1993) fick man ännu i industriell och professionell användning använda kemikalier som innehöll mer än 0,1 viktprocent pentaklorfenoler, dess salter och estrar. Kemikalierna var dock tvungna att uppfylla dåvarande kemikalielagens (744/1989) 25:e paragrafs krav och att en anmälan skulle göras enligt paragraf 26. Det betydde bland annat att för att få använda träskyddskemikalierna som fanns till för att skydda träet från att förstöras eller drabbas mot insektsangrepp krävdes ett godkännande av vatten- och miljöförvaltningen⁷. Träskyddskemikalierna fick inte produceras, importeras eller säljas utan detta godkännande. De produkter som gavs godkännandet fick endast användas till dess avsedda bruk och enligt tillverkarens anvisningar. I mindre undersökningar angående kemikaliernas användbarhet, såsom i laborietester, behövdes ingen anmälan göras. (Miljöministeriet, 1993; Social- och hälsovårdsministeriet, 1989)

Jämförelsevis förbjöds de pentaklorfenolbaserade träskyddskemikalierna år 1978 i Sverige och några år senare uppdaterades den svenska byggnormen med att fuktspärr var att föredra istället för träskyddskemikalier (Lorentzen J. C., Juran, Nilsson, Nordin, & Johansson, 2015). I Sverige har Arbetsmiljöverket gett ut hygieniska gränsvärden och på gränsvärdelistan finns det gränsvärden för klorfenolhalter inomhus (Arbetsmiljöverket, 2015).

För kloranisoler finns det inga motsvarande gränsvärden eller förordningar givna av myndigheterna (Miljöministeriet, 2016).

⁷ Vatten- och miljöförvaltningen är en egen översättning från finskans vesi- ja ympäristöhallitus

4 LABORATORIETESTER FÖR OLIKA SANERINGSLÖSNINGAR

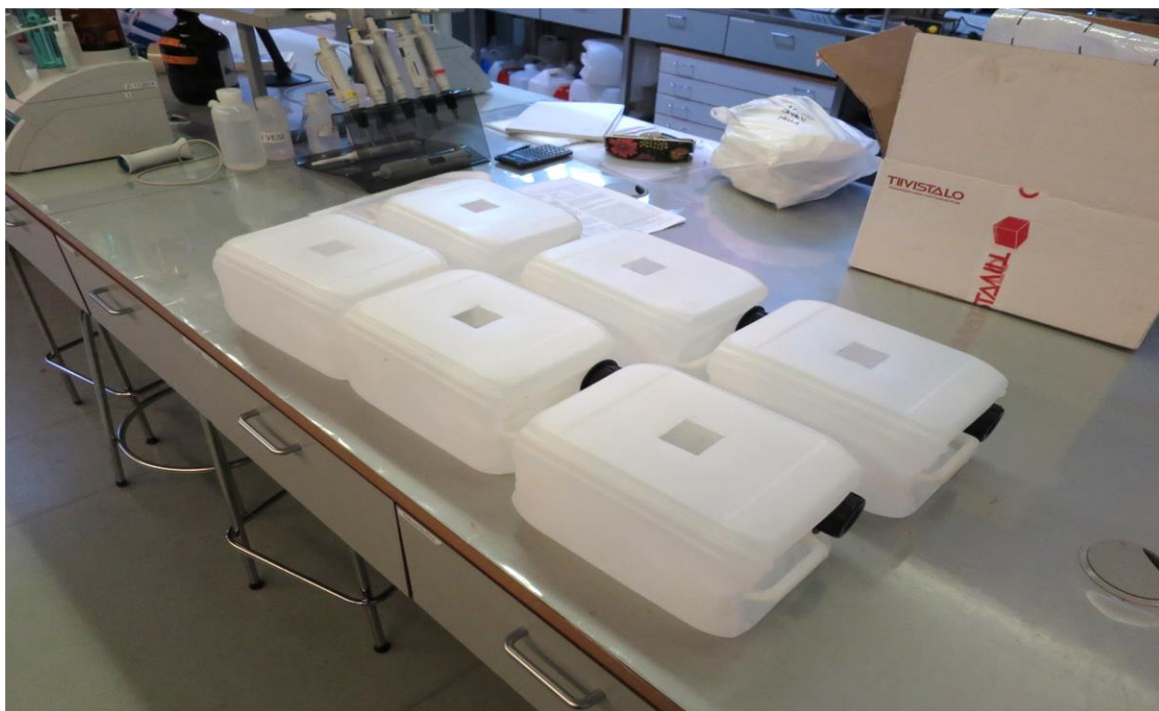
Testerna utfördes i Technobothnias miljölaboratorium den 17.2 och 8.3.2017. Testernas ena målsättning var att få reda på om sågspån ur en befintlig församlingslokals mellantak avger kloranisolutsläpp. Dessutom undersöktes fyra olika materiallösningar som möjligtvis kunde ta bort eller förminska utsläppen. Det gjordes VOC -mätningar och lukttester på sammanlagt sex olika prover. De fyra materialen valdes på grund av att de släpper igenom fukt och de uppskattades på förhand vara produkter som kunde ta bort/minska kloranisolutsläppen.

Proven analyserades med gaskromatograf masspektrometri⁸ metoden 8.3.2017.

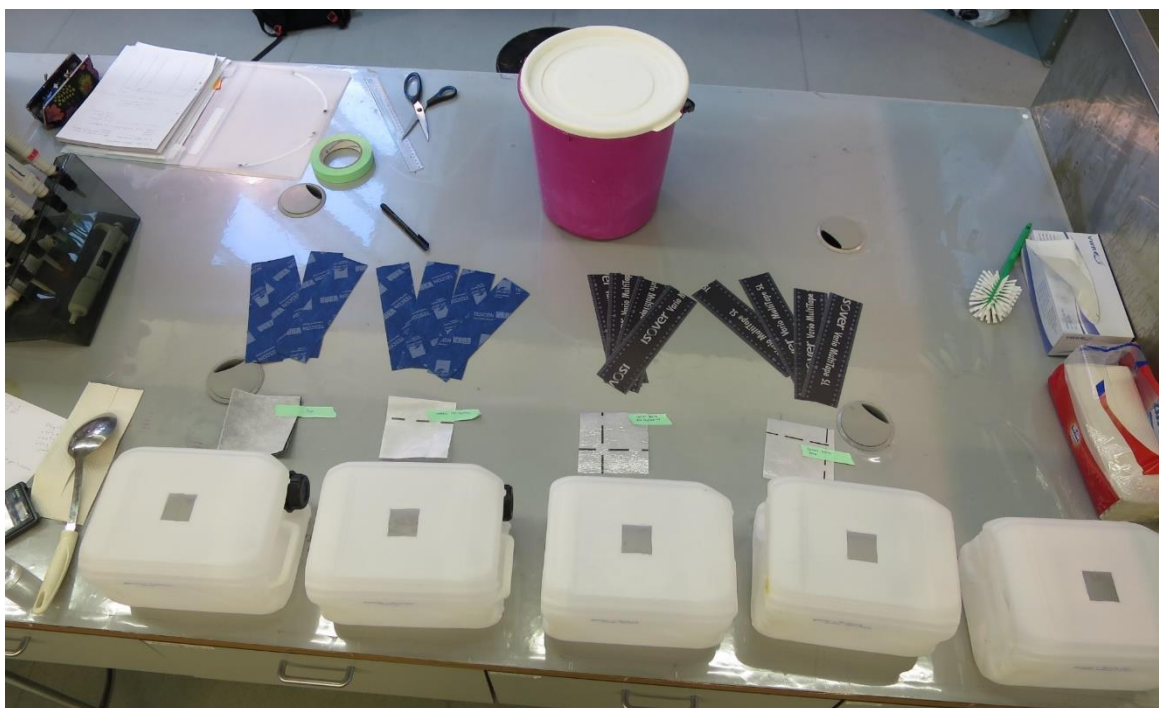
4.1 Provernas förberedelse och VOC-provtagning

17.2.2017 utfördes den första delen av testerna. Först rengjordes och torkads 6 stycken 5,7 liters dunkar, vilka användes som behållare. Därefter skars det ut ett 3,8 cm x 3,8 cm (14,44 cm²) hål i mitten av dunkarna (Figur 5). Sen klipptes 10,5cm x 10,5cm bitar ur de testade materialen och till dem tillhörande tätningstejp (Figur 6).

⁸ Gaskromatografen (GC) förångar provet i en injektor och gasströmmen för ämnena genom en kolonn för att separera dem. Masspektrometri (MS) fungerar som detektor och man får ut information om ämnets struktur genom fragmenterings-mönstret. (www.alsglobal.se, hämtat 14.3.2017)



Figur 5: Behållarnas öppningar har storleken 3,8 cm x 3,8 cm, som kommer att täckas med olika produkttillverkares plaster och dukar



Figur 6: Dunkarna med till dem tillhörande produkter

Sågspånen som användes till testerna var samlade ur en befintlig församlingslokals mellantak från två olika ställen 27.1.2017. Sammanlagt 532 gram sågspånen samlades i förslutningsbara plastpåsar, vilka var inlindade i aluminiumfolie. För att de undersökta

emissionerna skulle hållas kvar förvarades proven i nedfryst tillstånd i 20 dygn, fram tills ett dygn före testerna påbörjades.

Påsarnas innehåll tömdes i ett kärl för att göra blandningen enklare. I kärlet med 532 gram sågspån lades sedan 21 ml destillerat vatten till för att ge kloranisolerna en gynnsammare miljö. Hela satsen blandades jämt för att få jämförbara tester. I detta skede togs 85 gram ur blandningen för prov nummer 1, för att få reda på om sågspånen innehöll kloranisoler. Därefter lades dunken på lagring i en 23 liters förvaringslåda (Figur 7).



Figur 7: Prov nummer 1 i en 23 literslåda färdig för lagring

I den resterande satsen av sågspån sprutades 17 ml Isooktan och TetraCA⁹ blandning för att säkerställa att det finns åtminstone TetraCA i proven 2–6. Blandningens TetraCA halt var 0,014 µg/ml och 85 gram av sågspånet innehåller 43 nanogram (ng) TetraCA. I provdunkarna 2–6 lades 85 gram av sågspån och TetraCA blandningen och dunkarna 3–6 täcktes med de material som skulle testas. Se Bilaga 1 för en beskrivning av de testade materialen. Hanteringen med Isooktan och TetraCA blandningen gjordes snabbt eftersom båda ämnena är väldigt lättflyktiga. Flyktigheten gör att exakta mängden TetraCA är svår att bestämma. Till sist lades de färdiga provdunkarna i egna 23 liters förvaringslådor på lagring (Figur 8). Förvaringslådorna förvarades i rumstemperatur. Se tabell 1 för de olika typerna som skulle testas.

⁹ TetraCA används som en förkortning på 2,3,5,6-TetraKloranisol (engelskans 2,3,5,6-TetraChloroanisoole)



Figur 8: Proven lagrades i 2 veckor och 5 dygn i 23 liters förvaringslådor

Tabell 1: Visar vad de sex olika proven bestod av, vilka material hålen täcktes med och när proven lades på lagring och när lagringen slutade.

Prov nummer	Provets innehåll	Mängd destillerat vatten (ml)	Mängd TetraCA (ng)	Provets totala mängd (g)	Testade materialet	Start på lagring	Slut på lagring
1	Sågspån	3,2	-	85	-	17.2.2017	8.3.2017
2	Sågspån + TetaCA	3,2	43	85	-	17.2.2017	8.3.2017
3	Sågspån + TetaCA	3,2	43	85	cTrap + Tescon Vana tejp	17.2.2017	8.3.2017
4	Sågspån + TetaCA	3,2	43	85	Intello + Tescon Vana tejp	17.2.2017	8.3.2017
5	Sågspån + TetaCA	3,2	43	85	Isover Vario KM Duplex + Isover Vario Multitape	17.2.2017	8.3.2017
6	Sågspån + TetaCA	3,2	43	85	Isover Vario Xtra + Isover Vario Multitape	17.2.2017	8.3.2017

Efter att proven lagrats gjordes VOC-mätningar på alla sex fallen. VOC-mätningarna gick ut på att 9 liter luft pumpades ur förvaringslådorna med ett flöde på 100 ml/min under 90 minuter. Luftmängden för testerna bestämdes enligt arbetshälsoinstitutets anvisningar om VOC-mätning och tidigare forskning angående motsvarande tester.

De första VOC-proverna togs 3 dygn efter att proven packats in (20.2.2017). Tyvärr misslyckades provtagningen och då bestämdes att nya tester skulle ta efter att nya emissioner hunnit sprida sig i förvaringslådorna. Den nya lagringstiden kan vara ett relativt verklighetsnära fall med tanke på att de fuktiga sågspånen och kloranisolerna fick lagras en längre tid. I verkligheten kan virket eller sågspånen ha lagrats mellan 1 till 30 år. Förvaringslådorna vädrades i 90 minuter så länge de misslyckade mätningarna pågick,

vilket kan jämföras med att byggnadernas luft också vädras och ventileras. Förvaringslådornas täthet är också en osäkerhetsfaktor som måste beaktas i resultaten.

Efter att proven lagrats i två veckor och fem dygn tog sex nya VOC-prover, den 8.3.2017. Före VOC-mätningen kontrollerades pumpens flöde med flödesmätaren DryCal DC-Lite. Noggrannheten på flödet var 100 ± 5 ml/min. Därefter pumpades nio liter luft ur förvaringslådan med en kalibrerad pump i ett TENAX TA absorbentrör (Figur 9). Tre pumpar användes under provtagningen. TENAX rörens och pumparnas numrering för varje provfall finns antecknad i tabell 2.



Figur 9: Nio liter luft pumpades ur förvaringslådorna under VOC-provtagningarna med flödet 100ml/min

Tabell 2: Information om VOC-testerna; TENAX-rörens numrering, använda pumparnas nummer och dess flöde. Provtagnings tid och provets volym är också märkt i tabellen. I sista kolumnen är det märkt ifall de olika test fallen avgav lukt vid VOC-provtagnings tillfället.

Prov nummer	Provet	Rör	Pump	Flöde	Provtagnings tid	Provets volym	OBS!
1	Sågspån	Mi153743	LT20	100 ml/min	90 min	9 L	luk
2	Sågspån + TetaCA	Mi153711	LT18	100 ml/min	90 min	9 L	luk
3	Sågspån + TetaCA, cTrap	Mi128459	LT19	100 ml/min	90 min	9 L	
4	Sågspån + TetaCA, Intello	Mi058301	LT18	100 ml/min	90 min	9 L	lite luk
5	Sågspån + TetaCA, Isover Vario	Mi128448	LT19	100 ml/min	90 min	9 L	
6	Sågspån + TetaCA, Isover Vario Xtra	Mi153713	LT20	100 ml/min	90 min	9 L	

I samband med pumpandet luktades det på teserna för att se om näsan kunde känna av kloranisollukt. Prov nummer 1 och 2 luktade under hela VOC-provnings tiden. Lukten var en blandning av sågspån och en stark stickande lukt. Dessutom kändes en svag liknande lukt av prov 4 direkt då förvaringslådan öppnades för att ta luftprovet. Lukten varade endast en liten stund och efter 90 minuter var lukten helt borta. Förvaringslådornas plastluk gjorde det svårare för luktsinnet att känna igen andra lukter.

Reservluktprover gjordes i IdeaStructura Oy:s kontor så att de anställda skulle kunna lukta på de olika fallen. I detta lukttest jämfördes de tre olika så kallade smarta ångbromsarna¹⁰. Proven paketerades in samma dag som sågspånen samlades, 29.1.2017 (Figur 10). Paketens storlek var lika stora som en A5 och innehöll ca två deciliter sågspån. Sågspånen paketerades i fyra olika paket:

- Utan någonting
- Med Intello
- Med Isover Vario KM Duplex
- Med Isover Xtra

¹⁰ En smart ångbroms är en ångbroms vars diffusionsmotstånd varierar beroende på luftfuktigheten. Vid höga fukthalter på sommaren släpper den igenom vattenånga och i torra förhållanden på vintern fungerar den som en tät ångbroms. (www.isover.fi, hämtat 1.4.2017)



Figur 10: Utseendet på ett av de smarta ångspärr paketen, vilka användes för reservlukttesterna

Alla paket lindades in i slutningsbara fryspåsar samt aluminiumfolie och -påsar. Detta gjordes för att isolera lukten i påsarna och för att kunna skilja de olika paketens lukthalt. Påsarna lagrades i två månader och lukttesterna utfördes av fem personer 27.3.2017. De fem testpersonerna bestod av fyra män och en kvinna. Lukthalten presenteras på en skala från noll till tre. Noll står för ingen lukt, ett för svag lukt, två för medelstark lukt och tre stark för lukt. Resultaten presenteras i resultatkapitlet.

4.2 Körning av proven och standarderna

Standardlösningar gjordes för att få en skala på TetraCA-halten. Standardlösningarna och injektionen i TENAX rören gjordes samma dag som VOC-mätningarna, 8.3.2017. Den linjära standardkurvan består av tre olika halter av TetraCA, 1, 5 och 10 ng. Varje halt injekterades i tre absorbentrör för att få ett säkrare resultat. Sammanlagt blev det alltså 9 standarder som kördes med gaskromatograf masspektrometri metoden samtidigt som de egentliga proven kördes. Standarderna sammanställdes med dataprogrammet Enhanced Data Analysis.

Under analyseringsprocessen frigörs de organiska föreningarna från absorbenten genom termisk desorption och separerades därefter från varandra i en gaskromatograf. Föreningarna identifieras med en masspektrometer samt med hjälp av Wiley's spektrumdatabas och med gjorda standarder.

Proven kördes med Agilent 6890 Series GC System och Agilent 5973 Network Mass Selective Detector (GC-MSD). I gaskromatografin användes programmet nyRTL och information om programmets inställningar finns att läsas i bilaga 2. Termiska desorptionen gjordes med Markes International Limited Ultra TD och Unity maskinerna.

Luftprovets resultat granskades med datorprogrammet Enhanced Data Analysis samt VOC-mättningsbiblioteket och standardkurvan.

5 RESULTAT

Resultatet av detta examensarbete presenteras i detta kapitel. Resultatet är utifrån litteraturstudier en beskrivning på olika mätinstrument och metoder för kloranisol- och klorfenolmätning. Resultatet består dessutom av olika saneringslösningar som kan användas för att ta bort eller reducera kloranisollukten. Sista delen av resultat kapitlet består av de testade materialens resultat. Dessutom är bilaga 1 ett resultat av litteraturstudierna, vilket också var en beställning av företaget.

5.1 Mätutrustning och gränsvärden för kloranisoler och klorfenoler

I tidigare undersökningar har luft- och materialprover varit de vanligaste sätten att mäta om det finns kloranisoler i inomhusluften och i byggnadsmaterialen. Med luftproven kan man konstatera möjlig förekomst av kloranisoler medan med materialprover kan man bevisa det (Lorentzen J. , 2013). Det går att fråga om olika analysmöjligheter av bland annat Arbetshälsoinstitutet.

Klorfenolerna går att undersöka genom att öppna konstruktioner och med att ta materialprover. Klorfenolerna som listas upp i SFS-ISO 14153 standarden ska analyseras ur materialproven och de ska analyseras enligt givna metoder. (Miljöministeriet , 2016) Materialprovtagningen ska utföras enligt specifika laboratoriers givna direktiv.

För att få fram om det finns kloranisoler i inomhusluften går det att ta luftprover med olika slags pumpar och absorbentrör. Proven analyseras med passande apparater. Hur provtagningen utförts och analyserats i tidigare undersökningar är beskrivet i bilaga 1. I nyare undersökningar har upptäcktsgränsen blivit lägre jämfört med äldre undersökningar. I de undersökta studierna varierar gränsen mellan $0,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ och $0,25 \text{ ng}/\text{m}^3$. I detta examensarbete har det gjorts luftprover, vilka är beskrivna i föregående kapitel.

Enkla lukttester går att utföra genom att samla in det luktande materialet, föra det till en annan miljö för att lukta på det. Man ska samla materialet i förslutningsbara påsar och linda in det i aluminiumfolie för att isolera lukten. Det lönar sig även att samla material som inte luktar eftersom näsan lätt blir van med lukten och till exempel kalla utrymmen och bra ventilation minskar lukten. Det samlade materialets storlek ska motsvara storleken av en penna. Lukttesterna utförs på ett luktfritt ställe och det är bra att även låta

utomstående lukta på dem för att de som vistas i den luktande byggnaden lätt blir vana med lukten. (Andersson, 2017)

Det finns inga gränsvärden för kloranisoler givna av myndigheterna (Miljöministeriet , 2016) men 15 ng/m^3 anses framkalla lukt men inte orsaka hälsorisk (Lorentzen J. C., Juran, Nilsson, Nordin, & Johansson, 2015). Svenska Arbetsmiljöverket har utsett hygieniska gränsvärden för tri-, tetra- och pentaklorfenol. Gränsvärdet inomhus är $0,5 \text{ mg/m}^3$ och för kortvarig utsättning är gränsvärdet $1,5 \text{ mg/m}^3$. (Arbetsmiljöverket , 2015)

5.2 Saneringslösningar för kloranisolobjekt

Det finns olika metoder och lösningar för att ta bort eller minska kloranisollukten. Det säkraste sättet är att ta bort det behandlade virket och ersätta det med nytt. På grund av luktsmittan bör dessutom också andra smittade material ersättas med nya. Denna lösning är dyr, tidskrävande och man kan inte alltid bo i byggnaden under saneringen.

Ett exempel på att minska lukten är att skapa undertryck i källaren eller krypgrunden för att styra bort lukten. För att få ett bättre resultat kan man i samband med detta använda en avfuktare för att minska fukten i materialet och således fördröja mikrobangreppen, vilket leder till minskade emissioner. Fotokatalytiska luftrenare kan också reducera kloranisollukten. (Andersson, 2017)

Däremot är inte alla saneringsvätskor lämpliga för sanering av kloranisolproblemet. Saneringsvätskorna innehåller mestadels vatten och olika lösningsmedel, vilka kan främja pentaklorfenolernas sönderdelning. Slipning av träytan garanterar inte en lönsam saneringslösning. Trots att själva träskyddsmedlet inte har trängt in mer än några centimeter in i virket så har hela virket blivit luktsmittat.

Luktsmittan gör det svårt att få bort allt luktande material och därför är lufttätningen av konstruktionerna en bra saneringslösning. Bygganden ska vara lufttät både inåt och utåt, så att emissionerna inte kan strömma in via otätheter, via utomhusluften eller in med ventilationsluften. (Andersson, 2017) I detta examensarbete har det gjorts laboratorietester på lufttättningslösningar med fyra olika material. Materialen är presenterade i bilaga 1 och resultaten av testerna finns att läsa i nästa underkapitel.

5.3 Laboratorietesternas resultat på olika saneringslösningar

I detta underkapitel kommer laboratorietesternas resultat att presenteras och tolkas. I tolkningen kommer resultaten och förväntningarna av resultaten att jämföras. Dessutom kommer orsaken till varför testerna gav just dessa resultat att analyseras i resultattolkningen.

5.3.1 Resultat

Med resultaten önskades det fås fram om sågspånen innehåller olika kloranisolföreningar samt hur bra olika saneringsmaterial kan stoppa Tetrakloranisol utsläpp och lukt. Dessutom var det viktigt att få fram om miljölaboratoriets gaskromatograf masspektrometri metodens utrustning klarar av att analysera och identifiera kloranisoler.

Standardkurvan som gjordes i samband med VOC-testerna blev enligt förväntningarna en jämt stigande kurva som beskriver förhållandet mellan halten tetrakloranisol i ng och molekylmassan. Den kan alltså användas för att få reda på halten 2,3,5,6-tetrakloranisoler i VOC-testerna. Gaskromatograf masspektrometri metoden i Technobothnias miljölaboratorium klarade således av att identifiera TetraCA ur TENAX absorbenttrören.

De sex egentliga proven innehöll inte TetraCA eller andra kloranisoler. Detta resulterar i att de fyra olika testade materialen inte kunde jämföras på basis av VOC-testerna. I nästa underkapitel beskrivs olika möjligheter varför proven inte visade något. Istället jämförs proven på basis av lukt och tidigare forskning. Resultaten av lukttesterna på de smarta ångbromsarna jämförs på en skala från noll till ett, beroende på hur mycket lukt de släpper igenom. Noll motsvara ingen lukt, ett står för svag lukt, två för medelstark lukt och tre för stark lukt. Luktesten utfördes av fem testpersoner 29.3.2017 i IdeaStrucura Oy:s kontor. Se tabell 3 för lukttest resultaten.

Tabell 3: Resultaten på lukttesterna på skala från noll till tre

Prov nummer	Provets innehåll	Testade materialet	Lukt nivå
1	Sågspån	-	3
4	Sågspån	Intello + Tescon Vana tejp	2
5	Sågspån	Isover Vario KM Duplex + Isover Vario Multitape	1
6	Sågspån	Isover Vario Xtra + Isover Vario Multitape	0

Lukttesterna visar att Isover Vario Xtra var det bästa alternativet för att stoppa lukten. Lukten beskrevs av testpersonerna som en unken lukt som förknippades med mormors stuga lukten, som i finskan kallas för ”mummonmökin haju”.

I samband med VOC-testerna det luktades också på testerna och då märktes att Isover Vario KM Duplex, Isover Vario Xtra och cTrap klarar av att utestänga unken stark lukt. Medan Intello släpper igenom en svag lukt som försvann efter att förvaringslådan hunnit vädras en stund.

5.3.2 Resultattolkning

Med tanke på att miljölaboratoriets gaskromatografi och masspektrometri utrustning klarar av att analysera standarderna så är denna metod lämplig för att ta fram tetrakloranisol. Problemet med själva proven kunde vara att halten TetraCA var under metodens detektionsgräns eller så hade TetraCA smitit ur provdunkarna och förvaringslådorna under provtiden. Det sist nämnda problemet känns mest trovärdigt med tanke på att TetraCA är ett lättflyktigt ämne.

Tetrakloranisol har kunnat fly ur proven i flera olika skeden då testerna förberetts. Då själva kemikaliet applicerades med sprayflaska i sågspånet försvann lika mycket av TetraCA i luften som det gick i sågspånet. Detta märktes eftersom applikationen utfördes på en våg och kemikaliets mängd och vikt var känd. TetraCA har också kunnat fly ur sågspånen då den blandades och då den utdelades i provdunkarna. Dessutom var förvaringslådans täthet okänd och ifall emissioner ännu i detta skede funnits kvar kan de flytt i detta skede. I samband med första försöket av VOC-mätningarna vädrades förvaringslådan i 90 minuter, vilket kan ha gjort att TetraCA-utsläppen har försvunnit. Med

andra ord finns det flera olika tillfällen då tetrakloranisolutsläppen kan ha försvunnit ur sågspånen på grund av att de är lättflyktiga.

Det några saker som man skulle ha kunnat göra annorlunda för att ha undvikit emissionernas flykt. För det första kunde man ha applicerat kemikaliet med droppar istället för sprayflaska och blandat ihop allting i ett slutet kärl. Dragskåp användes på grund av säkerhetsskäl i samband med att TetraCA applicerades. Dragskåpets inverkan kan ha varit negativ. Det sög åt sig TetraCA ur luften som annars skulle ha landat i sågspånet. Istället för dragskåp skulle något lämpligt andningsskydd varit bättre för testarrangemanget. Till sist borde förvaringslådornas täthet testas och tätheten förbättras enligt behov.

I verkligheten byts luften i byggnaden ut med jämna mellanrum, vilket det också till viss del gjordes under testarrangemanget. Det gör att lukten av kloranisolerna mer eller mindre borde vädras bort. I och för sig uppkommer kloranisoler i äldre byggnader, vilka har en sämre ventilation än nya byggnader. Dessutom sker en del av luftcirkulationen via otätheter i konstruktionerna och via dem kommer också kloranisolerna till inomhusluften. Därför kunde mer verklighetsnära resultat fås om testerna görs i verkliga byggnader. Då får den naturliga ventilationen spela sin roll i testerna. Dessutom är arean på emissionsytan betydligt större i verkligheten än i de gjorda testerna, vilket också resulterar i större halter utsläpp. Samtidigt som byggnadens volym är större än förvaringslådans, vilket betyder att emissionerna kan spridas i en större volym. I det här fallet kunde mätningar på ett begränsat område med stor emissionsyta ge provsvar med störst sannolikhet.

Ifall problemet var tetrakloranisolets låga halt som låg under detektionsgränsen kunde skilda tester göras för att hitta den rätta applikationsmängden. Detta kräver dock mera tid och resurser. Enligt tidigare undersökningar kan låga halter avge lukt trots att de lämnar under apparatens detektionsgränser.

Utifrån lukttesterna som gjordes i samband med VOC-testerna så är cTrap, Isover Vario Xtra och Isover Vatio KM Duplex UV lämpliga saneringsmaterial för att stoppa unken lukt. På grund av att VOC-testerna inte visade några kloranisolutsläpp, kan inte lukten heller med säkerhet tolkas som kloranisollukt.

Luktproven som gjordes på IdeaStructura Oy:s kontor 29.3.2017 gjordes en jämförelse på de så kallade smarta ångbromsarna. Lukttesterna var aningen noggrannare än det som gjordes i samband med VOC-testerna. För det första var det fem testpersoner istället för en och för de andra gjordes lukttesterna på närmare avstånd från luktkällan. Dessutom hade

sågspånen stått inomhus en längre tid vilket resulterade i att de börjat lukta starkare. Således fick man tydligare skillnad i luktnivåerna. Testpersonerna var entydiga om att Isover Vario Xtra släppte igenom minst eller ingen lukt alls.

På basis av tidigare forskning har cTrap konstaterats minska 87–96% av kloranisolutsläppen (Lorentzen J. C., Om C-trap & kloranisoler (presentation), 2015). Isover Vario KM Duplex UV har inte direkt testat mot kloanisler, men den har testats mot MVOC och PAH föreningar. Denna undersökning visade att den fungerar som inkapslingsmaterial vid torra förhållandet då diffusionskoefficienten i materialet är litet. Då fukthalten stiger så ökar även emissionernas genomsläpplighet. (Keinänen, 2009) Det nyare materialet Isover Vario Xtra är en förbättrad version av Isover Vario KM Duplex UV (Isover Saint-Gobain, u.å.).

Således kan slutsatser dras på basis av människans luktsinne och tidigare forskning att cTrap och Isover Vario Xtra lämpar sig bäst som saneringsmaterial för luktande emissioner såsom kloranisoler.

6 SLUTDISKUSSION

Syftet med detta examensarbete var att göra en omfattande litteraturstudie om kloranisoler och deras bakgrund. Litteraturstudien baserades på tidigare forskning. Därtill gjordes VOC- och lukttester för olika saneringslösningar. Utifrån testerna och tidigare forskning ville man få fram lämpliga lösningar för att sanera objekt med kloranisollukt samt att få reda på hurudan utrustning som fungerar för att mäta och analysera kloranisolerna.

I Finland finns det bara några få kommentarer om kloranisolproblematiken, således har Sveriges och Tysklands källor varit basen till detta arbete. Därför önskades bilagan bli skriven på finska för att få informationen på det språk som används mest inom företaget.

Informationen som fåtts utifrån utredningarna, tidigare forskningarna och laborietesterna kommer enligt behov att användas inom olika användningsändamål. Informationen och erfarenheten kan användas i samband med inomhusundersökningar och för att få reda på om bygganden har problem med kloranisoler. Dessutom kan den även användas till att planera saneringslösningar till den utsatta byggnaden. Eftersom allt detta är noggrant dokumenterat kan även andra inom företaget ha möjlighet att utnyttja informationen.

Detta examensarbete går att vidare utveckla på många olika sätt. För det första kan man göra en utredning om problemets utsträckning i Finland, vilket redan är gjort i Sverige. Som andra kan man gör noggrannare och mer givande tester på olika saneringsmaterial, antingen i laborieförhållanden eller i verkliga objekt. Dessutom kan man testa olika luftmättningsapparater och analyseringsmetoder för att få fram vilket verktyg som lämpar sig bäst för att mäta kloranisoler.

Personligen har jag fått en djup förståelse om kloranisoler och om kemin som ligger bakom lukten samt utvecklat idéer om sanerings- och mättningsmöjligheter. Dessutom har de olika lagarna och anvisningar blivit bekanta vilket ger en bredare syn på ämnet. Jag har lärt sig massor om laboriearbete, för det har också varit obekant från förr. Summa summarum har utförandet av detta examensarbete varit intressant och lärorikt men samtidigt krävande och jag anser att det finns massor av möjligheter att undersöka och utveckla ämnet vidare.

7 REFERENSER

Allergia- ja Astmaliitto ry ja Hengityслиitto ry, 2011. *Sisäilmaopas*. Allergia- ja Astmaliitto ry ja Hengityслиitto ry.

Andersson, J., 2017. *Elak lukt eller mögellukt i huset*. [Online]
www.lfs-web.se
[hämtat 20.1.2017].

Andersson, J., 2017. *Kloranisoler är vanlig källa till lukt i hus*. [Online]
www.lfs-web.se
[hämtat 20.1.2017].

Andersson, J., 2017. *Pentaklorfenol träskyddsbehandling få bort lukt i hus sjuka hus*. [Online]
www.lfs-web.se
[hämtat 20.1.2017].

Arbetsmiljöverket, 2015. *Hygieniska gränsvärden*. Stockholm : Arbetsmiljöverket.

Ekobyggportalen, u.å.. *Träskydd*. [Online]
www.ekobyggportalen.se
[hämtat 1.3.2017].

Gunschera, J. m.fl., 2004. *Formation and Emission of Chloroanisoles as Indoor Pollutants*. ESPR - Environ Sci & Pollut Res.

Huttunen, J., 2013. *Sisäilmaongelmien yleisimmät syyt ja niiden korjaaminen (presentation)*. [Online]
www.rkl.fi/ylivieska
[hämtat 17.4.2017].

IdeaStructura Oy, u.å.. *IdeaStructura*. [Online]
www.ideastructura.com
[hämtat 25.3.2017].

Isover Saint-Gobain Sverige AB, 2016. *System för lufttäthet och fuktsäkerhet - säkra beprövade lösningar*.

Isover Saint-Gobain, u.å.. *Isover Vario Xtra*. [Online]
www.isover.fi
[hämtat 28.3.2017].

Keinänen, H., 2009. *Polyamidipohjaiset kapselointiratkaisut haitta-aineiden ja epäpuhtauksien torjunnassa*. Helsinki: Teknillinen korkeakoulu.

Komulainen, J., Huttunen, J. & Sääntti, J., 2011. *Haitalliset aineet rakennuksissa ja niiden hallinta*. Rakentajan kalenteri.

Korpi, S., 2015. *Rakennuksen painesuhteiden ja rakenneliittymien tiiveyden merkitys sisäilman laatuun (presentation)*. [Online]

www.ains.fi

[hämtat 25.3.2017].

Lahontorjuntayhdistys r.y. ja Rakennuskirja Oy, 1988. *Puunsuojaus*. Helsingfors: Lahontorjuntayhdistys r.y. ja Rakennuskirja Oy.

Lorentzen, J. C., 2013. *Förekomst och effekter av kloranisoler från träskyddsmedel. Bygg och teknik 2/13*.

Lorentzen, J. C., 2015. *Om C-trap & kloranisoler (presentation)*. Institutet för miljömedicin .

Lorentzen, J. C., Juran, S. A. & Johanson, G., 2015. *Mögellukt för miljoner*. Husbyggaren.

Lorentzen, J. C. m.fl., 2015. *Chloroanisoles may explain mold odor and represent a major indoor environment problem in Sweden*. Indoor Air.

Markowicz, P. & Larsson, L., 2012. *The surface emissions trap: A new approach in indoor air purification*. Lund: Journal of Microbiological Methods.

Miljöministeriet , 2016. *Rakennuksen kosteus- ja sisäilmatekninen kuntotutkimus*. Miljöministeriet.

Miljöministeriet, 1993. *Valtioneuvoston päätös pentakloorifenolien sekä monometyylitetraklooridifenyylimetaanin, monometyylidiklooridifenyylimetaanin ja monometyylidibromidifenyylimetaanin markkinoille luovuttamisen ja käytön rajoittamisesta (846/1993)*, Helsinki: Valtioneuvosto.

Miljöministeriet, 2000. *Valtioneuvoston päätös pentakloorifenolin sekä eräiden difenyylimetaanien markkinoille luovuttamisen ja käytön kieltäminen (143/2000)*, Helsinki: Valtioneuvosto.

Nyman, E., 1994. *Lukt från impregnerat trä*. Stockholm: Svenska Träskyddsinstitutet.

Palm, A. m.fl., 2002. *Screening av pentaklorfenol (PCP) i miljön*. Stockholm: IVL Svenska Miljöinstitutet AB.

Peltola, S. m.fl., 2008. *Suunnittelijan opas koulurakennusten sisäilmasto-ongelmien ja kosteusvaurioiden korjaamiseen*. Espoo: Opetushallitus.

Puuinfo, u.ä.. *Kosteusteknisiä ominaisuuksia*. [Online]

www.puuinfo.fi

[hämtat 27.2.2017].

Rakennustieto Oy, 2012. *RT 21-11094 - Kyllästetty puutavara*. Rakennustietosäätiö RTS.

Social- och hälsovårdsministeriet, 1989. *Kemikaalilaki (744/1989)*. Helsinki: Valtioneuvosto.

SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut , u.ä.. *Allmänt om fukt*. [Online]

www.sp.se

[hämtat 2.2.2017]

Suomen Asiakastieto Oy, u.å.. *asiakastieto.fi*. [Online]
www.asiakastieto.fi
[Hämtat 25.3.2017].

Svenskt Trä, u.å.. *Träskydd*. [Online]
www.svenskttra.se
[hämtat 5.1.2017].

TräGuiden, 2003. *Mikroorganismer*. [Online]
www.traguiden.com
[hämtat 27.2.2017].

TräGuiden, 2003. *Träskydd*. [Online]
www.traguiden.se
[hämtat 5.1.2017].

Tukes - Säkerhets- och Kemikalieverket, 2014. *Kyllästettyä puuta vain erityistarpeeseen*. [Online]
www.tukes.fi
[hämtat 25.1.2017].

Utbildningsstyrelsen, 2009. *Renovering av skolbyggnader vid problem med inomhusklimatet*. Esbo: Utbildningsstyrelsen.

Kloorianisoliin ja kloorifenoliin vaikutus sisäilmaan Korjausvaihtoehtoja ja näytteenottotapoja

Yleisesti kloorianisoliin aiheuttamista sisäilmahaitoista

Kloorianisoliit ovat pahaa hajua muodostavia päästöjä, jotka ovat peräisin aikaisemmin käytetyistä kloorifenolipohjaisista puunsuoja-aineista. Kloorianisoliin haju muistuttaa homemaista, maakellarimaista ns. mummon mökin hajua. Haju tarttuu helposti muihin puu- ja rakennusmateriaaleihin, sekä rakennuksessa olevaan irtaimistoon, kuten tekstiileihin ja huonekaluihin.

Kloorifenolilla käsitelty puu aiheuttaa jo itsessään hajua, mutta kloorifenoliin reagoitua kosteuden ja mikrobien hajoamistuotteiden kanssa muodostuu ilmaan helposti haihtuvia kloorianisoliipäästöjä. Kloorianisoliin hajukynnys on todella matala. Tämän vuoksi haju ei välttämättä viittaa rakennuksessa piileviin mikrobivaurioihin. Suomessa vuosina 1930–1980 rakennetuissa taloissa voi esiintyä mm. kloorifenoleilla käsiteltyä sahatavaraa ja kutterilastueristettä. (Ympäristöministeriö, 2016; Lorentzen, et al., 2015)

Tavallisin käytetty kloorifenoli oli pentakloorifenoli, jota käytettiin laajalti Pohjoismaissa ja muuallakin Euroopassa. Myös Euroopan ulkopuolella rakennuksissa on kosteusongelmia. Tämä tarkoittaa sitä, että kloorianisoliin hajuhaitat voivat olla ongelma useammassakin maassa. Ongelmat tulevat yleistymään ilmaston lämpenemisen ja ilman suhteellisen kosteuden kasvamisen yhteydessä.

Kloorianisoliin terveyshaitoista on tehty hyvin vähän tutkimuksia ja oireet jotka voisivat viitata kloorianisoleihin, muistuttavat paljon muita yleisiä oireita, kuten hengitysteiden tulehdusoireita. (Lorentzen, et al., 2015) Terveysuojelulain mukaan asuintiloissa esiintyvät haitalliset hajut katsotaan mahdollisiksi terveyshaitan aiheuttajiksi (Ympäristöministeriö, 2016).

Kloorifenoliin aiheuttamat haitat on havaittu aikaisemmin elintarvikealalla esimerkiksi viinien korkkimaisesta mausta ja elintarvikepakkausten käsittelyssä (Gunschera, et al., 2004). Luonnon ja vesistön saastuttajana kloorifenoliit ovat saaneet näkyvyyttä artikkelissa, jonka mukaan esimerkiksi Kärkölen pohjavesi saastui 1980-luvulla puuteollisuutta harjoittavassa Koskisen Oy:ssä käytetyn kloorifenoliin ja tulipalon seurauksena (Säilynoja, 2014). Ruotsissa kloorifenoleja ja niiden aiheuttamia kloorianisoliipäästöjä ei ole juurikaan huomioitu niihin liittyvien sisäilmahaittojen laajuudesta huolimatta (Lorentzen, et al., 2015). Suomeen saakka kloorianisoliipäästöjä ei ole erityisesti tutkittu, eikä kloorianisoliipitoisuuksille ole asetettu virallisia raja-arvoja (Ympäristöministeriö, 2016).

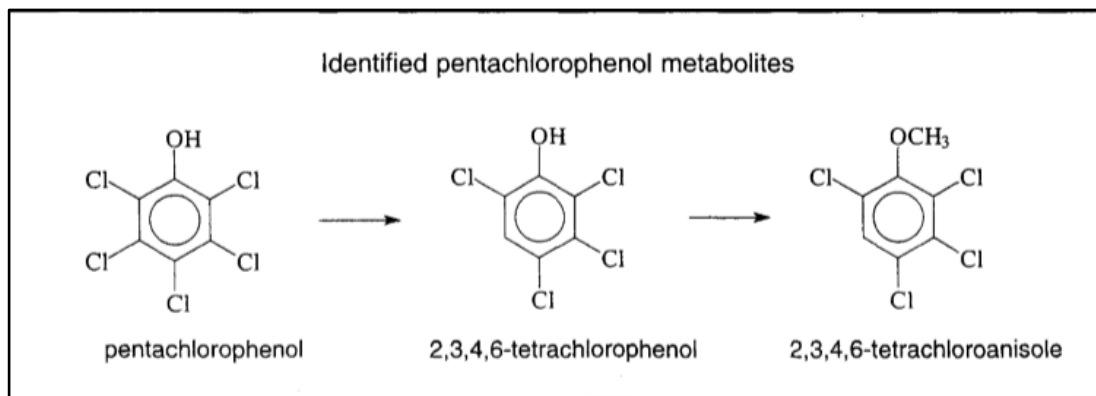
Mistä kloorianisoliit ovat peräisin?

Kloorifenolipohjaisia puunsuoja-aineita käytettiin estämään esimerkiksi puun lahoamista, tuhohyönteisiä, sinistymistä, sienikasvustoa ja homeen muodostumista. Puunsuoja-aineita käytettiin kaikenlaisissa puurakenteissa kuten runkorakenteissa, ikkunankarmeissa, seinäpaneeleissa, kattotuoleissa sekä ovien kynyksissä. Ruotsissa tehtyjen aikaisempien tutkimusten mukaan kloorianisoleja kuitenkin löytyi kaikkein eniten lattiarakenteista, etenkin seinien alajuoksista. (Lorentzen, et al., 2015) Kloorifenolipohjaisia puunsuoja-aineita käytettiin myös puhelinpylväissä, viinipullojen korkeissa, lastauslavoissa ja -laatikoissa (Gunschera, et al., 2004).

Kloorifenolipohjaisilla puunsuoja-aineilla käsiteltyjen puurakenteiden kastuessa tapahtuu kemiallinen reaktio. Kloorifenolin tai kloorifenolin suolojen reaktio kosteuden kanssa käynnistää mikrobin aineenvaihduntaprosessin, joka tuottaa kloorianisoleja ja pahaa hajua. (Lorentzen, et al., 2015) Prosessissa kloorifenolin bentseenirenkaasta irtoaa klooriatomi tai klooriatomeja, minkä jälkeen bentseenirenkaaseen liittyy metyyliryhmä (CH₃), katso kuva 1 (Gunschera, et al., 2004).

KLOORIFENOLIPOHJAISET PUUNSUOJA-AINEET + KOSTEUS
+ MIKROBIEN AINEENVAIHDUNTAPROSESSI

→ **KLOORIANISOLIPÄÄSTÖT**



Kuva 1. Pentakloorifenolin muuttuminen tetrakloorianisoliksi. Ensin bentseenirenkaasta poistuu yksi klooriatomi, jonka jälkeen metyyliryhmä liittyy bentseenirenkaaseen. (Gunschera, et al., 2004)

Ruotsalaisessa tutkimuksessa on tutkittu 19 erilaista kloorifenolia ja kloorianisolia. Erona eri kloorifenolien ja kloorianisoliin välillä on klooriatomien määrä ja niiden sijoittuminen bentseenirenkaassa suhteessa metyyliryhmään, mikä vaikuttaa molekyylien eri ominaisuuksiin. (Lorentzen, et al., 2015) Pelkästään kloorifenoleja ja niiden suoloja on olemassa 19 erilaista (Kauppinen, 1984).

Tutkimuksen mukaan kaikki kloorifenolit ja kloorianisolit eivät ole yleisiä Ruotsissa. Yleisimpiä kloorifenoleja ovat 2,4,6-trikloorifenoli, 2,3,4,6-tetrakloorifenoli ja pentakloorifenoli. Näitä kloorifenoleja on KP-Cuprinol valmisteissa, jota käytettiin paljon 1960 ja 1970-luvulla Ruotsissa. Suomessa käytettiin vastaavasti Ky5-nimistä valmistetta, joka sisältää samoja kloorifenoleja. Yleisimpiä kloorianisoli-päästöjä ovat trikloorianisolit ja tetrakloorianisolit, joista trikloorianisoli on yksi voimakkaimmin hajua erittävistä mikrobien aineenvaihduntatuotteiden kaasumaisista yhdisteistä (MVOC). (Lorentzen, et al., 2015)

Kloorianisolien haju

Puurakenteissa ja kutterilastueristeissä, jotka on käsitelty kloorifenolipohjaisilla puunsuoja aineilla, voi esiintyä pahanhajuisia kloorianisoli-päästöjä (Lorentzen, et al., 2015). Jos suojattu puu on tarpeeksi kostea, (≥ 15 p-% kosteuspitoisuus) voi pahaa hajua esiintyä jo vuoden päästä käsittelystä (Nyman, 1994, p. 2). Kloorianisoli-päästöt haihtuvat helposti kloorifenolipohjaisista puunsuoja-aineista, minkä jälkeen niiden haju leviää koko tilaan. Hajun lähde voi olla sisätiloissa tai suoraan yhteydessä sisätiloihin rakenteen rakojen ja epätiiviyiskohtien kautta. (Gunschera, et al., 2004) Haju tarttuu helposti muihin materiaaleihin, kuten eristeisiin, vaatteisiin ja huonekaluihin. Hajun poistaminen on vaikeaa ja siksi rakennuksia on jopa jouduttu purkamaan. (Ympäristöministeriö, 2016)

Mikrobien aineenvaihduntaprosessi voi edetä hitaasti ja siksi osassa kohteista hajua voi alkaa esiintyä vasta 20–30 vuoden päästä kloorifenolikäsittelystä (Gunschera, et al., 2004). Hajua aiheutuu jo pienistä kloorianisoli-pitoisuuksista, jopa niin pienistä, että ne jäävät VOC-mittauksien määrittämisraja alapuolelle. Alle 15 ng/m^3 kloorianisoli-pitoisuudet aiheuttavat jo hajua, mutta niin matalat pitoisuudet eivät vielä ole terveydelle haitallisia. 2,4,6-trikloorianisoli on yksi voimakkaimmin haisevista MVOC-päästöistä. Hajun voimakkuus riippuu klooriatomien määrästä sekä niiden sijainnista bentseenirenkaassa. (Lorentzen, et al., 2015)

Kloorifenolien haju koetaan tunkkaisena, homeenkaltaisena hajuna (Lorentzen, et al., 2015). Mummonmökin haju on yksi kuvaus hajusta (Rämö, 2015). Homemainen haju rakennuksessa johtaa usein siihen, että rakennus todetaan homevaurioituneeksi, vaikka hajun aiheuttaja saattaa ollakin jokin muu kuin home (Nyman, 1994, p. 3).

Pahaan hajuun tottuu, ja siksi asukkaiden on itse vaikea löytää hajun alkuperää. Ulkopuoliset, jotka käyvät haisevassa rakennuksessa, tottuvat myös hajuun suhteellisen nopeasti. Hajulähteen paikantaminen voi myös olla vaikeaa, varsinkin jos käsitelty puu on kylmässä tilassa. Matalammissa lämpötilassa ei ihmisenä koe hajua yhtä voimakkaana. (Andersson, 2017) Se, miten voimakkaana kukin hajun kokee, riippuu henkilöiden yksilöllisestä hajuaistista (Lorentzen, et al., 2015).

Puunsuoja-aineita koskevat lait ja määräykset

Pentakloorifenolipohjaisia puunsuoja-aineita, kuten Ky5-nimistä valmistetta, käytettiin Suomessa eniten 1930–1980-luvuilla. Joitakin pentaklooria sisältäviä valmisteita oli vielä markkinoilla 1990-luvun alussa. (Ympäristöministeriö, 2016) Puu on käsitelty Ky5-valmisteella upottamismenetelmällä. Ruotsalainen valmiste KP-Cupimol on lisätty puuhun painekyllästämällä. (Palm, et al., 2002) Pentakloorifenolipohjaisten puunsuoja-aineiden valmistus ja käyttö on kiellettyä sekä Suomessa että Ruotsissa.

Pentakloorifenolipohjaiset ja muut puunsuojakemikaalit ovat jo vuosikymmeniä olleet viranomaisten hyväksynnän vaativia tuotteita. Nykyään hyväksynnän antaa Turvallisuus- ja kemikaalivirasto (Tukes) ja lupamenettely perustuu EU:n biosidiasetukseen (528/2012) ja kemikaalilakiin (599/2013). Aikaisemmin Lääkintöhallitus teki puunsuojavalmisteista ns. julistamispäätöksen myrkkylain (309/1969) ja sen kumouduttua silloisen kemikaalilain (744/1989) perusteella. (Henkilökohtainen viestintä: Paula Haapasalo, Tukes- Turvallisuus- ja kemikaalivirasto, 11.1.2017)

Suomessa on lisäksi laki, joka koskee pentakloorifenoliin käyttöä: *"Valtioneuvoston päätös pentakloorifenoliin sekä eräiden difenyyylimetaanien markkinoille luovuttamisen ja käytön kieltämisestä (143/2000)"*. Kyseinen laki astui voimaan 1. maaliskuuta 2000 ja kumosi edellisen päätöksen (846/1993) vuodelta 1993, joka sisälsi pentakloorifenoleja koskevat rajoitukset.

Päätöksessä (143/2000) pentakloorifenoliin käytöstä on säädetty seuraavasti:

- Pentakloorifenoliin, sen suolojen ja estereiden sekä niitä vähintään 0,1 painoprosenttia sisältävien muiden kemikaalien käyttö sekä luovuttaminen markkinoille on kielletty.
- Yllä mainituilla kemikaaleilla käsitellyn puun käyttö rakennuksen sisätiloissa sisustukseen tai muuhun tarkoitukseen on kielletty. Lisäksi käsitellyn puun käyttö on kielletty ravintokasveille tarkoitettujen astioiden valmistuksessa ja sellaisten pakkauksien ja materiaalien valmistuksessa, jotka voivat joutua kosketuksiin ihmisen tai eläimen ravinnon raaka-aineiden, puolivalmisteiden tai tuotteiden kanssa sekä saastuttaa niitä.
- Nämä kiellot eivät koske näiden kemikaalien tutkimus- ja kehitystyötä eikä analyysitarkoituksia. (Ympäristöministeriö, 2000)

Kumotussa päätöksessä (846/1993) sai vielä teolliseen ja ammattimaiseen käyttöön käyttää kemikaaleja, jotka sisälsivät pentakloorifenoleja, sen suoloja ja estereitä enemmän kuin 0,1 painoprosenttia. Kemikaalin piti kuitenkin täyttää silloisen kemikaalilain (744/1989) 25. pykälän vaatimukset ja niistä oli tehtävä 26. pykälän mukainen ilmoitus. Tämä tarkoitti sitä, että mm. puunsuojakemikaaleille, jotka oli tarkoitettu suojaamaan haitallisten itiöiden aiheuttamalta tuholta ja pilaantumiselta, oli hankittava hyväksyntä Vesi- ja ympäristöhallitukselta, jotta niitä sai käyttää. Puunsuojakemikaaleja ei saanut valmistaa, tuoda maahan eikä luovuttaa myyntiin ilman tätä hyväksyntää. Hyväksyttyjä puunsuojakemikaaleja sai käyttää ainoastaan hyväksyttyyn käyttötarkoitukseen ja

käyttöohjeita noudattaen. Ilmoitus piti tehdä Vesi- ja ympäristöhallitukselle joko ennakoon tai jälkikäteen, riippuen siitä, mihin tarkoitukseen suojakemikaalia valmistettiin. Pienemmissä kemikaalien käyttökelpoisuustutkimuksissa, kuten laboratoriokokeissa, ei tarvinnut ilmoittaa suojakemikaalin käytöstä. (Ympäristöministeriö, 1993; Sosiaali- ja terveysministeriö, 1989)

Ennen näitä kahta lakia ei pentakloorifenoliin käytölle ollut säädetty omaa lakia. Puunsuojakemikaaleja kuitenkin käsiteltiin kemikaalilaissa (744/1989) aikaisemmin mainituissa pykälissä.

Pentakloorifenolia käsittelevä laki on määrätty kemikaalilain 43. ja 44. pykälän perusteella. Kyseisissä pykälissä sanotaan, että jos kemikaali itsessään tai sen käyttö voi aiheuttaa merkittävää haittaa ihmisen terveydelle tai ympäristölle voi valtioneuvosto kieltää muun muassa sen käytön, valmistuksen ja maahan tuonnin. Lisäksi valtioneuvosto voi määrätä kemikaalia koskevia rajoituksia ja ohjeita. (Sosiaali- ja terveysministeriö, 1989)

Turvallisuus- ja kemikaalivirasto Tukes valvoo puunsuojakemikaalien käyttöönottoa, jotta ne eivät ole ympäristölle ja ihmisen terveydelle haitallisia. Paineekyllästetylle puulle on asetettu paljon rajoitteita. Paineekyllästetyn puun käyttö on esimerkiksi kiellettyä sisätiloissa, sillä sen käyttö kuivissa sisätiloissa on tarpeetonta, eikä painekyllästetty puu saa joutua suoraan kosketukseen elintarvikkeiden ja juomaveden kanssa. Kyllästettyä puuta työstäessä on käytettävä siihen tarkoitettuja suojavarusteita ja puujäte pitää lajitella määräysten mukaisesti.

Vanhoja kyllästettyjä pölkyjä ja pylväitä ei enää saa uusiokäyttää asuinalueilla, kotitalouksien rakenteissa tai puutarhakalusteissa, eikä missään sellaisessa käytössä, jossa ihokosketus on mahdollista. Vanhoista puutavararakennelmista voi sadeveden mukana huuhtoutua vaarallisia syöpää aiheuttavia aineita maaperään ja siitä esimerkiksi kasveihin tai kaivoveteen. (Tukes-Turvallisuus ja kemikaalivirasto, 2014)

Vertailun vuoksi mainittakoon, että Ruotsissa pentakloorifenolipohjaisten puunsuoja-aineiden käyttö kiellettiin vuonna 1978. Muutamaa vuotta myöhemmin päivitettyssä Ruotsin rakennusmääräyksessä (Svensk Bygg Norm 80) esitellään jälleen rakenteelliset suojat puunkosteuden suojaamiseen. (Lorentzen, et al., 2015) Ruotsissa työsuojeluvirasto on asettanut raja-arvoja sisäilman kloorifenolipitoisuuksille.

Kloorianisoleille ei ole olemassa vastaavia raja-arvoja eikä säädöksiä. Suomen terveydensuojelulaissa (763/1994) katsotaan häiritsevän hajun olevan mahdollinen terveyshaitta asuiniloissa. (Ympäristöministeriö, 2016) Suomen rakentamismääräyskokoelman määräykset koskien veden- ja kosteudeneristystä (C2) ovat tarkempia vuoden 1998 kuin vuoden 1976 versiossa. (kts. Suomen rakentamismääräyskokoelma)

Terveyshaitat ja sosiaalinen vaikutus

Kloorianisolien terveysvaikutuksista ei ole juurikaan tieteellisiä tutkimuksia. Sen sijaan pentakloorifenolin on todettu olevan haitallista terveydelle (Lorentzen, et al., 2015; Palm, et al., 2002). Pentakloorifenoli on suurina määrinä haitallista mm. hengitysteille, verenpaineelle sekä sydämen toiminnalle. Pentakloorifenoli yhdessä dioksiinien kanssa ärsyttää ihoa, silmiä ja limakalvoja. (Palm, et al., 2002) Pentakloorifenoleille voi altistua hengitysteiden, ihon sekä ruoansulatuskanavan kautta (Kauppinen, 1984). International Agency for Research on Cancer (IARC) on luokitellut kaikki kloorifenolit ihmiselle todennäköisesti syöpää aiheuttavaksi aineeksi. Luotettavia epidemiologisia tutkimuksia, jotka todistaisivat kloorifenolien aiheuttavan ihmiselle syöpää, ei ole. Suurin osa terveyshaittatutkimuksista on toteutettu eläinkokeina. (Johannesson & Barregård, 2013)

Kloorianisolien suurin haitta on niiden haju, joka voi synnyttää huolta ja aiheuttaa stressioireita, jotka ovat samankaltaisia kuin tulehdusoireet. Ruotsissa tehdyn tutkimuksen mukaan kloorianisolien terveysvaikutusten takana voi olla biologinen psykologia. (Lorentzen, et al., 2015) Ihmisen elintoiminnot, varsinkin aivojen ja keskushermoston toiminta, vaikuttavat käyttäytymiseen, eli biologisen psykologian mekanismeilla on yhteys psyykkisen ja fyysisen toiminnan välillä (Egidius, 2017). Epidemiologisissa tutkimuksissa on todettu, että homeen haju on merkki kosteusvaurioista ja että kloorianisolipäästö on merkityksellinen MVOC-päästö, jolla on yhteys negatiivisiin terveysvaikutuksiin. Ihmisen hajuaisti varoittaa terveydelle vaarallisista päästöistä aiheuttaen suojaavia psykologisia refleksejä. Jo todella pienet kloorianisolipitoisuudet sisäilmassa aiheuttavat hajua, joka ei välttämättä ole terveydelle haitallista.

Tutkimuksessa on selvinnyt, että ne ruotsalaiset, joilla on eniten astman ja allergian oireita, asuvat 1960- ja 1970-luvulla rakennetuissa taloissa. Tutkimuksessa ei selviä liittyykö kloorianisolipäästöt asiaan. Tietämättömyys ja viranomaisten vähäinen tieto kloorianisolien alkuperästä aiheuttavat myös huolta.

Kloorianisolien toksikologiset tutkimukset ovat puutteellisia ja tutkimuksen määrä on vähäistä. Pentakloorianisolien annostelua suun kautta on toksikologisesti tutkittu. Tutkimus on tehty jyrsijöille ja siinä pentakloorianisoli osoittautui olevan suurina annoksina jyrsijöille syöpää aiheuttava aine. Ihmisen suuremman koon vuoksi aineen pitoisuus ei ole yhtä suuri vartalon painoon suhteutettuna kuin jyrsijöillä. Luultavasti seurauksiin ei vaikuta se, altistutaanko aineelle suun kautta vai hengitysilman kautta, mutta suoraa yhteyttä ei voi todeta ilman tutkimuksia.

Kloorianisolipäästöjen aiheuttamasta hajusta saattoi tutkimuksen mukaan seurata myös sosiaalista haittaa. Esimerkiksi lasten vaatteisiin tarttunut haju aiheutti usein kiusaamista lasten keskuudessa. Päästöt ovat aiheuttaneet myös huolta talojen asukkaille, sillä hajujen vuoksi taloja on ollut vaikea myydä. (Lorentzen, et al., 2015)

Kloorifenolipohjaiset puunsuojatuotteet ja niiden käytön laajuus

Suomessa käytetyin pentakloorifenolipohjainen puunsuoja-aine oli Ky5, jota käytettiin Suomessa eniten 1930–1980-luvulla (Ympäristöministeriö, 2016). Ruotsissa painekyllästyksessä käytetyin tuote oli KP-Cuprinol, jota käytettiin aktiivisesti vuosina 1955–1978 (Nyman, 1994, p. 2; Naturskyddsverket, 2009). BP-Hylosan oli toinen Ruotsissa käytetty puunsuoja-aine, joka sisälsi pentakloorifenolia. Ruotsissa näitä kahta pentakloorifenolipohjaista puunsuoja-ainetta käytettiin sahateollisuuden kyllästämiseen noin 20 %:ssa (n. 18 % KP-Cuprinol ja n. 3 % BP-Hylosan) koko puunkyllästämistuotannosta kyseisinä vuosina. Toinen tavallinen puun kyllästystapa oli kupari-, kromi- ja arseeniyhdistepohjaisten puunsuoja-aineiden käyttö (CCA-kyllästeet). Kyseisinä vuosina käytettiin noin 640 tonnia pentakloorifenolia puun painekyllästämistä varten.

Ruotsissa yksityishenkilöiden käytössä oli muita valmisteita, kuten Koppar-Cuprinol, Penta-Solignum ja Zink-Cuprinol. Näiden tuotteiden myyntimääristä ei ole tarkkaa tietoa. Ruotsin tuotantovalvontahallituksen kloorifenolipohjaisten tuotteiden kieltä koskevan lehdistötiedotteen sekä Iso-Britanniasta saatujen tietojen mukaan voi kloorifenolipohjaiset puunsuojamaalien ja tekstiilienkäsitelyaineiden määrä olla n. 10 % yksityishenkilöiden käyttämien puunsuojavalmisteiden kokonaismäärästä, joka vastaa n. 200 tonnia. Lisäksi kloorifenolipohjaisia valmisteita käytettiin korjauskohteissa lahoamisen estoon ja hyönteisten karkotukseen. Tällaisia tuotteita Ruotsissa olivat esimerkiksi Husbocks-Cuprinol ja Anti-PA IV Husbock. Näitä valmisteita käyttivät sekä ammattilaiset että yksityishenkilöt. Kyseisten valmisteiden käytön laajuudesta ei ole tarkkaa tietoa, mutta arvioitu määrä on alle 2 tonnia per vuosi vuosina 1956–1978, mikä tarkoittaa yhteensä noin 15 tonnia. (Naturskyddsverket, 2009)

Suomessa vastaavaa tutkimusta ei ole tehty kloorifenolipohjaisten puunsuoja-aineiden valmistuksen ja käytön laajuudesta.

Kloorianisoliin mittaus ja niiden pitoisuuksien raja-arvot

Ilmanäytteillä voi todeta kloorianisoliin olemassaolon mahdollisuuden ja materiaalinäytteillä voi todistaa niiden olemassaolon (Lorentzen, 2013). Kloorianisoliin eri analysointimahdollisuuksia voi tiedustella esimerkiksi Työterveyslaitokselta.

Rakenteita voi tutkia rakenneavauksien ja materiaalinäytteenottojen avulla. Materiaalinäytteestä voidaan analysoida SFS-ISO 14154-standardissa mainitut kloorifenolit ja ne on analysoitava tähän tarkoitukseen kehitetyllä analyysimenetelmällä. (Ympäristöministeriö, 2016) Materiaalinäytteenotto tulee suorittaa näytteet analysoivan laboratorion ohjeiden mukaisesti.

Ruotsissa tehdyissä tutkimuksissa on käytetty eri näytteenottomenetelmiä kloorianisoliin havaitsemiseen. Jo vuonna 1999 julkaistussa artikkelissa esitettiin eri

näytteenotto- ja analyysimenetelmiä. Ensimmäinen menetelmä on SPME-analyysi (Solid Phase Microextraction), jota käytettiin seinän alajuoksun analysoinnissa ja jonka avulla löytyi trikloorianisolia. Lisäksi mainittiin ilmanäytteenotto-menetelmä, jossa käytettiin XAD-2-absorptioputkea ja ilmapumppua. Kyseisellä ilmanäytteellä pystyttiin määrittämään $0,05 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pitoisuuksia. Näytteet analysoitiin niin kutsutulla PAH-CA analyysillä, jossa analysoitiin mm. tri- ja tetra-kloorianisoleja, sekä trikloorifenolia. (Pegasus Lab, 1999)

Vuonna 2015 tehdyssä tutkimuksessa on suoritettu sekä materiaalinäyte- että ilmanäytetestejä. Testeissä analysoitiin useita eri kloorianisoleja ja kloorifenoleja. Ilmanäytteissä käytettiin ORBO 605 Amberlite XAD-2 100/50 mg-absorptioputkea ja siihen sopivaa pumppua. Ilmaa pumpattiin 125-1500 litraa nopeudella n. 0,5 litraa minuutissa. Ilmanäytteet analysoitiin kaasukromatografi-massaspektrometrillä (GC-MS). Analyysissä määritettiin penta-, tetra- ja trikloorianisolin sekä penta-, tetra- ja trikloorifenolin pitoisuudet. Analyysissä määritysraja oli $0,5 \text{ ng}/\text{m}^3$ ja havaitsemisraja oli $0,25 \text{ ng}/\text{m}^3$.

Tutkimuksessa kerätyt materiaalinäytteet kasteltiin vedellä 0,2 ml 5 g näytettä kohden ja niiden annettiin seistä yhden tunnin ajan 50-asteisessa lasi säiliössä. SPME-menetelmällä näytteistä haihtuneet kloorianisolit, absorboitiin ja kerättiin $85 \mu\text{m}$ erikoisastiaan (polyacrylate-fused silica fiber). Näytteet analysoitiin GC-MS-menetelmällä.

Kyseisessä tutkimuksessa selvitettiin vielä kloorianisolipitoisuuksien yhteys hajun voimakkuuteen. Selvitys tehtiin viiden koehenkilön ja kaasukromatografiaolfaktometrin avulla. Koehenkilöt kokivat hajukynnyksen olevan $5 \text{ ng}/\text{m}^3$ ja $0,5 \text{ mg}/\text{m}^3$ välillä. Tutkituista yhdisteistä 2,4,6-trikloorianisolilla oli matalin hajukynnyks, kun taas 3,5-dikloorianisolilla oli korkein. (Lorentzen, et al., 2015)

Saksassa vuonna 2004 tehdyssä tutkimuksessa suoritettiin vastaavia testejä. Ilmanäytteet kerättiin TENAX-desorptioputkella. Ilmaa pumpattiin 3–10 l, virtausnopeudella 100 ml/min. Näytteet analysoitiin GC-MS:llä. Kloorianisoliin havaitsemisraja oli $0,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Monessa testikohdassa havaittiin selvää hajua mutta kloorianisolipitoisuudet jäivät havaitsemisrajan alapuolelle. Testatuista kohdista otettiin myös materiaalinäytteitä. (Gunschera, et al., 2004)

Kloorifenoliin ja -anisoliin hajutestejä voi tehdä helposti keräämällä haisevaa puutavaraa tai sahanpurueristettä pakastepussiin, joka kääritään alumiinifolioon. Alumiinifolion tehtävä on kapseloida haju siten, ettei se leviä muihin puseihin. Materiaalista, joka ei haise, mutta jonka epäillään aiheuttavan pahaa hajua, kannattaa kerätä. Kylmä tila ja/tai hyvä ilmanvaihtuvuus laimentaa hajua ja tekee hajun lähteen todentamisesta vaikeaa. Puupalan koon ei tarvitse olla kynää suurempi saastuttaakseen kokonaisen huoneen, eli hajutestejä varten riittää pieni pala puumateriaalia.

Hajutestejä varten materiaalipussit viedään pois haisevasta rakennuksesta. Rakennuksen käyttäjät ja muut tilassa käyvät henkilöt tottuvat helposti hajuun, joten on hyvä antaa myös ulkopuolisen henkilön haistella pussien sisältöä. (Andersson, 2017)

Ruotsin työsuojeluviraston asettama hygieeninen raja-arvo sisäilman tri-, tetra- ja pentakloorifenolipitoisuudelle on 0,5 mg/m³. Lyhytaikaisen alistumisen raja-arvo on 1,5mg/m³. (Arbetsmiljöverket, 2015) Kloorianisoleille ei ole asetettu vastaavaa raja-arvoa.

Kloorianisoli-/kloorifenolikohteiden korjaus eri tuotteilla

Kloorianisolien ja kloorifenolien hajut tarttuvat helposti muihin materiaaleihin, jotka ovat olleet hajulähteen lähetyvillä, mikä tekee hajun poistamisesta vaikeaa. Yksi korjausvaihtoehto hajun poistamiseen on rakenteiden ilmatiivistäminen. Rakennus on korjattava ilmatiiviiksi sekä sisälle- että ulospäin. Sisällepäin sen vuoksi, että emissiot eivät virtaa epätiiviyskohtien kautta sisäilmaan, ja ulospäin etteivät ne kulkeudu ilmavaihdon mukana sisälle. (Andersson, 2017) Ilmatiiviyden lisäksi kapselointi-/absorptiotuotteet tarvitsevat myös kemiallisten epäpuhtauksien diffuusiovastuksen. Tässä opinnäytetyössä selvitetään tätä ominaisuutta VOC- ja hajutestien avulla.

Tässä kappaleessa on esitelty neljä eri tuotetta rakenteiden sisäpinnan ilmatiivistämiseksi. Seuraavassa kappaleessa on esitetty kyseisillä tuotteilla laboratorio-olosuhteissa tehtyjen VOC- ja hajutestien tulokset. Testeissä tutkittiin tuotteiden kykyä absorboida kloorianisoleja ja/tai estää niiden kulkeutuminen sisäilmaan. Tuotteet valittiin sillä perusteella, että niillä on vesihöyrynläpäisevyyden lisäksi arvioitu kapselointi- tai absorbointiominaisuus.

cTrap

cTrap on emissioita absorboiva suodatinkangas, joka koostuu neljästä eri kerroksesta. Ulommat kerrokset ovat suojaavaa kuitukangasta. Niiden välissä on hydrofiilinen polymeeri- ja absorptiokerros. (cTrap AB, u.d.) Polymeerikerros estää partikkeleiden ja haihtuvien orgaanisten yhdisteiden (VOC) pääsyn sisäilmaan ja absorptiokerros kerää ne itseensä. Suodatinkangas joko vähentää päästöjen pääsemistä sisätiloihin tai estää niiden pääsyn kokonaan. Absorptiokerroksen kapasiteetti vaihtelee riippuen yhdisteiden kemiallisista ja fysikaalisista ominaisuuksista. cTrap on vesihöyryä läpäisevä mutta silti ilmatiivis. (Markowicz & Larsson, 2012)

cTrapin käyttöikä on noin 10 vuotta ja sen suorituskykyyn ei vaikuta ilman suhteellisen kosteuden vaihtelu (35-85 % RH) eikä lämpötila (30-40 °C) (Makrowicz & Larsson, 2015). Tutkimusten mukaan suodatinkangas vähentää kloorianisoli- ja kloorifenolipäästöjä 87-96 %. Testeissä mitattiin mm. tri- ja tetrakloorianisoli-päästöjä. (Lorentzen, 2015). Toisissa testeissä dikloorianisolipäästöt vähenivät 99 prosentilla cTrapin asennuksen jälkeen. (Makrowicz & Larsson, 2015)

Ennen cTrapin asennusta on tärkeää paikantaa kloorianisolien hajun lähde, jotta kangas asennetaan oikeaan paikkaan. cTrapin voi asentaa lattialle, seinälle tai alakaton alapintaan. Suodatinkankaan voi asentaa suoraan olemassa olevien pintamateriaalien päälle tai rakennuksen rungon pintaan. Kan-

kaan päälle voi vielä asentaa uuden pintamateriaalin. Pintamateriaalivalinnassa on huomioitava kankaan vesihöyrynläpäisevyys, joka antaa mahdollisesti rakenteeseen joutuvan vesihöyryn kulkeutua pintamateriaaliin. (Insinööritoimisto Sulin Oy, u.d.) Mikäli alla oleva rakenne on kostea ja pintamateriaali ei kestä kosteutta, on höyrynsulkukalvo asennettava cTrap-kankaan alle.

cTrap kiinnitetään lattiaan kaksipuolisella mattoasennusteipillä, esimerkiksi Pro Climax Duplex-teipillä. Katto- ja seinäkiinnityksissä käytetään niittejä. Lisäksi on tärkeää, että kankaan saumat ja kankaaseen tehty läpiviennit ovat tiiviitä. Kankaan yläpintaan tulee kiinnittää saumausteippi, esimerkiksi M1-luokiteltu polypropyleenipohjainen Tescon Vana-teippi. (Insinööritoimisto Sulin Oy, u.d.) Tarkempi asennusohje löytyy valmistajan kotisivulta.

Isover Vario KM Duplex UV

Isover KM Duplex UV-höyrynsulkukalvo on kuitukangasvahvistettu polyamidikalvo. Kalvo on niin sanottu älykäs höyrynsulkukalvo, jonka diffuusiovastus vaihtelee 0,2 metristä 5 metriin riippuen ympäröivän ilman kosteudesta. (Isover Sain-Gobain, 2017)

Aikaisemmin tehdyn tutkimuksen mukaan kuivissa olosuhteissa, kun diffuusiokerroin on pieni, toimii polyamidipohjainen materiaali kapselointimateriaalina PAH- ja MVOC-yhdisteille. Haitta-aineiden ja epäpuhtauksien läpäisevyys kasvaa ilman suhteellisen kosteuden kasvaessa. (Keinänen, 2009)

Isover Vario KM Duplex UV-höyrynsulkukalvo asennetaan alustaan esimerkiksi nitomalla. Asentaessa höyrynsulkukalvoa on oltava tarkka tiivistämisessä. Sauma- ja jatkoskohdissa on kalvo limitettävä vähintään 100 mm ja saumat tiivistettävä sopivalla saumausteipillä, esimerkiksi Vario KB3-teipillä. Läpiviennit ja nurkkakohdat on myös tiivistettävä sopivalla teipillä, esimerkiksi MultiTape SL-teipillä. Täysin ilmatiiviin ratkaisun saavuttamiseksi on läpivienteihin käytettävä teipin lisäksi EPDM-solukumikappaleita. (Isover Sain-Gobain, 2017) Tarkempi asennusohje löytyy valmistajan kotisivulta.

Isover Vario Xtra

Isover Vario Xtra on parannettu versio Vario KM Duplex UV-tuotteesta. Vario Xtran diffuusiovastus on korkeampi kuin Vario KM Duplex UV:n. Se vaihtelee 0,3 metristä 25 metriin.

Isover Vario Xtra asennetaan ja tiivistetään Isoverin tuoteryhmään kuuluvilla teipeillä. Asennuksessa pätevät samat ohjeet kuin Vario KM Duplex UV-tuotteelle. (Isover Saint-Gobain, u.d.) Tarkempi asennusohje löytyy valmistajan kotisivulta.

Pro clima INTELLLO

Pro clima INTELLLO on kosteutta ohjaava polypropeenihöyrynsulkukangas tai niin sanottu hygrokalvo. Intellon diffuusiovastus vaihtelee kosteusolosuhteista riippuen 0,25 metristä 16 metriin. Talvella kangas toimii kosteussulkuna ja kesällä se päästää kosteuden läpi, siksi sitä kutsutaan kosteutta ohjaavaksi höyrynsulkuksi. (pro clima, u.d.; Tiivistalo, u.d.)

Intello-höyrynsulkukangas asennetaan mahdollisimman isoina palasina ja kiinnitetään alustaan nitomalla. Liitos- ja jatkoskohdat limitetään 100-150 mm ja tiivistetään sopivalla saumausteipillä, esimerkiksi Tescon No. 1 tai Tescon Vana-teipillä. Joissakin yksityiskohdissa on parempi käyttää Contega Solido SL-liitosnauhaa, kuten esimerkiksi ulkoseinän ja betonilaatan liitoksissa. Läpiviennit on myös tiivistettävä sopivilla tuotteilla, kuten Kaflex tai Roflex-läpivientikappaleilla. (Tiivistalo, u.d., pp. 24-25)

Muita korjausvaihtoehtoja

Kloorianisolipäästöjen hajun poistamiseen tai vähentämiseen on tiivistämisen ohella olemassa myös muita menetelmiä. Varmin tapa on pentakloorifenolilla käsitellyn puun poistaminen ja korvaamalla uudella materiaalilla. Hajutartunnan vuoksi rakennuksen haisevat tekstiilit ja materiaalit on hävitettävä ja korvattava uusilla. Korjausmenetelmä on kallis, aikaa vievä ja asukkaat eivät kaikissa tapauksissa pysty asumaan rakennuksessa korjauksen aikana. Avatut rakenteet ovat silloin suoraan yhteydessä sisäilmaan, jolloin hajut voimistuvat ja muita päästöjä pääsee suoraan hengitettävään ilmaan.

Esimerkiksi kellarin tai ryömintätilan alipaineistaminen on keino, jolla hajua voi vähentää. Tällöin ilman kulkusuunta muuttuu, eikä haju kulkeudu sisätiloihin. Hajun vähentämiseksi voi alipaineistamisen yhteydessä käyttää ilmankuivainta hidastamaan kosteuden ja mikrobien leviämistä, sekä vähentämään päästöjä. Hajun vähentämiseen voi myös käyttää fotokatalyyttistä ilmanpuhdistinta. (Andersson, 2017)

Pentakloorifenolilla käsitellyn puutavaran homemaista hajua ei saa vähennettyä kemiallisilla käsittelyillä, sillä ne sisältävät suurimmaksi osaksi vettä. Vesi ja liuottimet edistävät pentakloorifenolin hajoamisprosessia. Puupinnan hiominen ei myöskään ole kannattava korjausratkaisu. Hiominen on työlästä eikä takaa hajun katoamista. Vaikka pentakloorifenoli ei tunkeudu syvemmälle kuin pari senttimetriä puun pinnasta, sen haju tarttuu koko puutavaraan mm. halkeamien kautta, kosteuden kulun tai kemiallisten/biologisten prosessien takia. (Andersson, 2017)

Tuotteiden hajupaneelin tulokset

IdeaStructura Oy:n toimistotiloissa suoritettuun hajupaneeliin osallistui viisi koehenkilöä: neljä miestä ja yksi nainen. Hajupaneelin tavoitteena oli saada selville eri tuotteiden kyky vähentää tai poistaa kloorianisoliin tapaista hajua.

Ongelmakohteesta noudettua haisevaa sahanpurua oli pakattu 27.1.2017 kolmeen eri tuotekääröön, jotka tiivistettiin niille tarkoitetuilla teipeillä. Tuotteet, jotka testattiin, ovat yllä mainittuja niin sanottuja älykkäitä höyrynsulkukalvoja. Kääröjä varastoitettiin kahden kuukauden ajan sisätiloissa ja hajupaneeli suoritettiin 29.3.2017. Tulokset on esitetty taulukossa 1.

Asteikko hajun voimakkuudelle on nollasta kolmeen:

0 = ei hajua

1 = lievää hajua

2 = kohtalaisen voimakasta hajua

3 = voimakasta hajua

Testin nro.	Käärön sisältö	Testattu tuote	Hajun taso
1	Sahanpurua	-	3
2	Sahanpurua	Intello + Tescon Vana teippi	2
3	Sahanpurua	Isover Vario KM Duplex + Isover Vario Multitape	1
4	Sahanpurua	Isover Vario Xtra + Isover Vario Multitape	0

Taulukko 1. Hajupaneelin tulokset asteikolla 0-3.

Hajupaneelin perusteella Isover Vario Xtra soveltuu parhaiten kloorianisoliin hajun kapseloimiseen ja Intello päästää läpi eniten pahaa hajua. Koehenkilöt kokivat sahanpurujen hajun tunkkaisena mummonmökin hajuna. Osa henkilöistä vertasi hajua homeen hajuun.

Lähtötulokseissa on tarkoitus suorittaa samankaltainen hajupaneeli useammalla tuotteella, kuten cTrapilla ja polyeteenihöyrynsulkukalvolla.

Mainittakoon että ylimääräiset sahanpurut säilytettiin polyeteenistä (LD-PE) valmistetussa tavallisessa mustassa jätessä. Sahanpurusta aiheutuva haju oli aistittavissa muovin läpi ja jo muutaman tunnin kuluttua haju oli levinnyt koko huonetilassa.

Laboratoriossa tehdyt VOC- ja hajutestit on esitetty opinnäytetyössä "Inomhusluftproblem orsakade av kloranisoler – Litteraturstudier och laboratorietester för saneringslösningar".

Kirjallisuuslähteet

Andersson, J., 2017. Elak lukt eller mögellukt i huset. [Online]

www.lfs-web.se

[Haettu 20 1 2017].

Andersson, J., 2017. Kloranisoler är vanlig källa till lukt i hus. [Online]

www.lfs-web.se

[Haettu 23 1 2017].

Andersson, J., 2017. Pentaklorfenol träskyddsbehandling få bort lukt i hus sjuka hus. [Online]

www.lfs-web.se

[Haettu 20 1 2017].

Arbetsmiljöverket , 2015. Hygieniska gränsvärden, Stockholm : Arbetsmiljöverkets författarsamling.

cTrap AB, u.d. cTrap. [Online]

www.ctrapp.se

[Haettu 10 1 2017].

Egidius, H., 2017. Psykologilexikon. [Online]

www.psykologiguiden.se

[Haettu 18 1 2017].

Gunschera, J. ym., 2004. Formation and Emission of Chloroanisoles as Indoor Pollutants , s.l.: ESPR - Environ Sci & Pollut Res.

Insinööritoimisto Sulin Oy, u.d. cTrap tuotteen asennusohje, u.o.: Insinööritoimisto Sulin Oy.

Isover Sain-Gobain, 2017. Isover Vario KM Duplex UV. [Online]

Available at: www.isover.fi

[Haettu 29 1 2017].

Isover Saint-Gobain, ei pvm Isover Vario Xtra. [Online]

www.isover.fi

[Haettu 28 3 2017].

Johannesson, S. & Barregård, L., 2013. Miljömedicinsk bedömning av pentaklorfenolim-pregnerat trämaterial i bostäder, Göteborg : Västra Götalandsregionens Miljömedicinska Centrum (VMC).

Kauppinen, T., 1984. Nordiska expertgruppen för gränsvärdesdokumentation 54. Klorfenoler, Helsingfors: Arbete och hälsa.

Keinänen, H., 2009. Polyamidipohjaiset kapselointiratkaisut haitta-aineiden ja epäpuhtauksien torjunnassa. Helsinki: Teknillinen korkeakoulu.

Lorentzen, J. C., 2013. Förekomst och effekter av kloranisoler från träskyddsmedel , s.l.: Bygg och teknik 2/13.

Lorentzen, J. C., 2015. Om C-trap & kloranisoler (presentation), s.l.: Institutet för miljömedicin

.

Lorentzen, J. C. ym., 2015. Chloroanisoles may explain mold odor and represent a major indoor environment problem in Sweden, s.l.: Indoor Air.

Makrowicz, P. & Larsson, L., 2015. Improving the indoor air quality by using a surface emissions trap, Lund: Atmospheric Environment .

Markowicz, P. & Larsson, L., 2012. The surface emissions trap: A new approach in indoor air purification , Lund: Journal of Microbiological Methods.

Naturskyddsverket, 2009. Betydelse av pentaklorfenolbehandlat trä för spridning av dioxiner i miljön, Stockholm: Naturvårdsverket.

Nyman, E., 1994. Lukt från impregnerat trä. Stockholm: Svenska Träskyddsinstitutet.

Palm, A. ym., 2002. Screening av pentaklorfenol (PCP) i miljön, Stockholm: IVL Svenska Miljöinstitutet AB.

Pegasus Lab, 1999. Mögellukt är inte alltid mögel. Pegasus LAb Meddelande Nr.10, 12.

pro clima, ei pvm INTELLO. [Online]

www.proclima.com

[Haettu 28 3 2017].

Rämö, H., 2015. Vanhan talon haju – mummolanhaju vaiko sittenkin Tetrakloorianisoli. Heinola: Asumisterveysliitto AsTe Ry.

Sosiaali- ja terveysministeriö, 1989. Kemikaalilaki (744/1989), Helsinki: Valtioneuvosto.

Säilynoja, J., 2014. Kloorifenoli myrkytti kärköläläisiä vuosikausia 1980-luvulla. [Online]

www.yle.fi

[Haettu 28 2 2017].

Tiivistalo, ei pvm Höyrynsulkujen ominaisuudet. [Online]

www.tiivistalo.fi

[Haettu 28 3 2017].

Tiivistalo, ei pvm Sisäilman tiiviyskorjaaminen. [Online]

www.tiivistalo.fi

[Haettu 28 3 2017].

Tukes-Turvallisuus ja kemikaalivirasto, 2014. Kyllästetyn puun käytön rajoituksia. [Online]

www.tukes.fi

[Haettu 28 1 2017].

Ympäristöministeriö , 2016. Rakennuksen kosteus- ja sisäilmatekninen kuntotutkimus.

u.o.:Ympäristöministeriö .

Ympäristöministeriö, 1993. Valtioneuvoston päätös pentakloorifenoliin sekä monometyyli-tetraklooridifenyyli-metaanin, monometyylikloridifenyyli-metaanin ja monometyylikloridibromidifenyyli-metaanin markkinoille luovuttamisen ja käytön rajoittamisesta (846/1993), Helsinki: Valtioneuvosto.

Ympäristöministeriö, 2000. Valtioneuvoston päätös pentakloorifenolin sekä eräiden difenyyliimetaanien markkinoille luovuttamisen ja käytön kieltäminen (143/2000), Helsinki: Valtioneuvosto.

INSTRUMENT CONTROL PARAMETERS: GC_MSD

C:\MSDCHEM\1\METHODS\nyRTL.M

Control Information

Sample Inlet : GC
Injection Source : Manual
Injection Location : Rear
Use MS : Yes

6890 GC METHOD

OVEN

Initial temp: 30 'C (On) Maximum temp: 350 'C
Initial time: 5.00 min Equilibration time: 0.50 min
Ramps:
Rate Final temp Final time
1 10.00 220 10.00
2 20.00 240 4.00
3 0.0(Off)
Post temp: 0 'C
Post time: 0.00 min
Run time: 39.00 min

FRONT INLET (SPLIT/SPLITLESS)

Mode: Split
Initial temp: 120 'C (On)
Pressure: 0.00 psi (Off)
Total flow: 45.0 mL/min
Gas saver: Off
Gas type: Helium

BACK INLET (SPLIT/SPLITLESS)

Mode: Splitless
Initial temp: 0 'C (Off)
Pressure: 30.66 psi (On)
Purge flow: 0.2 mL/min
Purge time: 999.99 min
Total flow: 3.9 mL/min
Gas saver: Off
Gas type: Helium

COLUMN 1

Capillary Column
Model Number: Agilent 19091B-005
Ultra 2 5% Phenyl Methyl Siloxane
Max temperature: 325 'C
Nominal length: 50.0 m
Nominal diameter: 200.00 um
Nominal film thickness: 0.11 um
Mode: constant pressure
Pressure: 30.66 psi
Nominal initial flow: 1.1 mL/min
Average velocity: 30 cm/sec
Inlet: Back Inlet
Outlet: MSD
Outlet pressure: vacuum

COLUMN 2

(not installed)

FRONT DETECTOR (NO DET)

SIGNAL 1

Data rate: 20 Hz
Type: test plot
Save Data: Off
Zero: 0.0 (Off)
Range: 0
Fast Peaks: Off
Attenuation: 0

BACK DETECTOR (NO DET)

SIGNAL 2

Data rate: 20 Hz
Type: test plot
Save Data: Off
Zero: 0.0 (Off)
Range: 0
Fast Peaks: Off
Attenuation: 0

COLUMN COMP 1

(No Detectors Installed)

COLUMN COMP 2

(No Detectors Installed)

THERMAL AUX 2

Use: MSD Transfer Line Heater
Description: MSD Interface
Initial temp: 280 'C (Off)
Initial time: 0.00 min

Rate Final temp Final time
1 0.0 (Off)

Bilaga 2

POST RUN
Post Time: 0.00 min

TIME TABLE

Time	Specifier	Parameter & Setpoint
------	-----------	----------------------

GC Injector

Front Injector:

Injector not configured, use these parameters if it becomes configured

Sample Washes	2
Sample Pumps	4
Injection Volume	1.00 microliters
Syringe Size	10.0 microliters
PostInj Solvent A Washes	0
PostInj Solvent B Washes	0
Viscosity Delay	0 seconds
Plunger Speed	Fast

Back Injector:

No parameters specified

Column 1 Inventory Number : ML003
Column 2 Inventory Number :

MS ACQUISITION PARAMETERS

General Information

Tune File : air.u
Acquisition Mode : Scan

MS Information

Solvent Delay : 0.00 min
EM Absolute : False
EM Offset : 0
Resulting EM Voltage : 2152.9

[Scan Parameters]

Low Mass : 35.0
High Mass : 300.0
Threshold : 150
Sample # : 2 A/D Samples 4

[MSZones]

MS Quad : 150 C maximum 200 C
MS Source : 230 C maximum 250 C

END OF MS ACQUISITION PARAMETERS

END OF INSTRUMENT CONTROL PARAMETERS
